OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	建機分野におけるライフサイクルコストに着目した顧客価値創造に関する実証的研究
Author(s)	髙村 , 藤寿
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69677
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

博士学位論文

建機分野におけるライフサイクルコストに着目した顧客価値創造に関する実証的研究

髙 村 藤 寿

2016 年 12 月

大阪大学大学院工学研究科

目次

第 1 章　緒論　1
1.1. 研究の背景および目的　1
1.1.1　本研究の位置づけ　1
1.1.2　建設機械とその使われ方の特徴　3
1.1.2.1 建設機械の概要　3
1.1.2.2 建機の使われ方の特徴と特殊性　5
1.1.3　日本の建機業界がおかれていた状況と課題　8
1.1.3.1 1990 年ごろまでの状況と対応　8
1.1.3.2 1990 年代以降の状況と課題　8
1.1.4　課題解決のための技術戦略　10
1.1.4.1 建機分野における顧客価値創造のビジネスモデル　10
1.1.4.2 産学連携を中心にしたオープン・イノベーションの積極的活用　11
1.1.5　本論文の目的と概要　13
1.2. 本論文の構成　14

第 2 章　現場志向に基づいた顧客価値創造のためのビジネスモデル　19
2.1. 緒言　19
2.2. 建設機械における顧客価値創造のためのモノ・サービス・ソリューションモデル　21
2.3. サービス領域でのビジネスモデル(第 1 領域)　22
2.4. ソリューション領域でのビジネスモデル(第 2 領域)　28
2.5. モノ・サービス・ソリューションビジネスによる顧客価値創造の戦略　31
2.6. 結言　33

第 3 章　建設・鉱山機械におけるライフサイクルコスト低減方策による顧客価値創造　35
3.1. 緒言　35
3.2. LCC 低減における課題と解決策　35
3.3. 計測による見える化および状態監視保全による不確実性低減と LCC 改善　37
3.3.1. 稼動データ計測による使われ方の見える化　37
3.3.2. 不確実要素の状態監視保全による低減　39
3.3.3. 計測による見える化およびばらつき低減による LCC 改善事例　39
3.3.3.1. 省エネ運転支援による燃料費低減　39
3.3.3.2. 履歴情報提供による下取り価評価の透明性向上　40
3.3.3.3. 適切な点検・調整による保守費低減　42
3.3.4.　LCC シミュレーションによる低減効果の評価　44

3.4. 不確実要素の原因除去とそれによるLCC低減 47
3.5. 結言 49

第4章 大学の見える化技術を活用した産学連携の技術循環モデルとその実践 53
4.1. 緒言 53
4.2. 産学連携とイノベーションプロセス 54
4.3. 技術循環モデルと産学連携 57
4.4. 産学連携テーマ成功事例分析 60
4.4.1 3時→6時(領域Ⅱ)テーマ事例 60
4.4.1.1 斜交波状フィン熱交換器の開発 61
4.4.1.2 離散要素法(DEM)による土砂挙動解析技術 62
4.4.2 9時→12時(領域Ⅳ)テーマ事例 63
4.4.2.1 プラズマ切断現象の見える化 64
4.4.2.2 大電流溶接現象の見える化 65
4.5. 技術循環モデルに基づく産学連携成功シナリオに関する考察 66
4.6. 結言 68

第5章 共同研究講座を通じた産学連携の高度化 ―産業界から見たその特徴と成果― 71
5.1. 緒言 71
5.2. 組織的な産学連携の取組みと共同研究講座 71
5.3. 阪大における共同研究講座の実施事例 72
5.4. 共同研究講座において発揮される産学連携の機能 76
5.4.1. 共同研究講座によって高度化された産学連携の機能 76
5.4.2. 共同研究講座の開設によって新たに実現された産学連携の機能 79
5.5. 結言 80

第6章 価値創造に繋がるイノベーションの産産連携による早期獲得 83
6.1. 緒言 83
6.2. サービス化, ソリューション化のビジネスモデルにおける将来ビジョン共有の必要性 84
6.3. 産産連携推進の考え方 84
6.4. 産産連携の実施例 87
6.4.1. 無人ダンプトラック運行システム 87
6.4.2 情報化施工建機およびそれを活用したソリューション 89
6.5. オープン・イノベーションの今後の方向性 91
6.6. 結言 92

第7章 結論 95

第 1 章　緒 論

1.1. 研究の背景および目的

1.1.1 本研究の位置づけ

近年の製造業においては，グローバル化や，IoT を中心とした技術革新が急速に進んでいることから，単なるものづくりでは付加価値や利益に結びつけることが困難になってきており，成長鈍化や低収益に陥る状況が散見される．そのようなビジネス環境下にあって，建設・鉱山機械を主とした製造業である小松製作所（コマツ）では，顧客価値創造という視点を技術経営の中心に置いて，しっかりとした「モノ」（商品）や技術をベースに「モノ」から「サービス」や「ソリューション」へのビジネス転換を行いながら経営を進めていると見られている．

ものづくりにこだわりを持つ製造業がモノからサービスへとビジネスを広げるサービス化の動きは，簡単ではないと思われるが，日本でも近年様々な分野で広まってきている（Fig.1-1）．BtoB（Business to Business）分野において遠隔地から自動でデータ収集，分析をする仕組みとしては，プラント等の固定設備を対象としたものでは，工作機械の遠隔監視(森ら，2006)，ガスタービンの遠隔監視(森村ら，2011)，ごみ焼却施設の操業支援(JFE エンジニアリング，2015)，変圧器の遠隔診断(平馬ら，2016)，水環境インフラ施設の遠隔監視(藤本ら，2017)などの事例が報告されている．また移動体を対象としたものとしては，航空機エンジンの分析，監視サービスの分野で GE がセンサデータを収集，分析し，メンテナンスの最適化につなげるビジネスを(前川，2015)，コマツが建設機械（建機）の位置および稼動情報を遠隔で収集，分析するシステムを（荒川，　2002），いずれも早い時期から展開している．

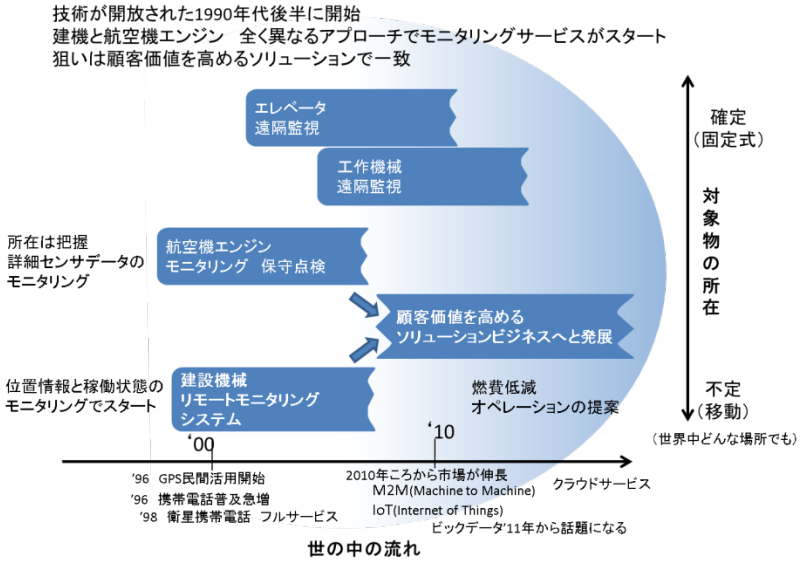

Fig.1-1　Movement of machine monitoring .

製造業のサービス化に関する俯瞰的な研究も，上記のような実際の事例を引用しつつ，着実かつ広範囲に展開されている(新井，2012，藤川，2012，青嶋ら，2014，絹川ら，2015，みずほ銀行，2013)．このような事例研究を通して，製造業がモノからサービスへとビジネスを広げる際に解決すべき課題や方法論が明らかになってきている．サービス化に求められているのは顧客行動や製品の状態を把握し顧客満足度を高めることである．このようなサービス化の考え方は上述のように様々な分野において，それぞれの分野の特徴や背景にあった形で導入され始めている．

上にあげた事例の中で、航空機エンジンおよび建機の事例はいずれも移動体を対象としたものであるが，その着眼点には違いがある．航空機産業では安全と効率的な運行が最重要の管理項目であり，航空機の所在は完全に把握されている．したがって航空機エンジンにおいては詳細なセンサデータのモニタリングに主眼が置かれている．これに対して建機では，使われる建設現場が頻繁に変わり，メーカーには建機の居場所を把握できないという特有の事情があるため，位置情報が得られることに大きな価値がある．

建機が使われる工事現場の状況は作業の進捗によって日々変化していくため，建機もそれに応じて現場内で稼動場所を変えながら使用される．一日の作業が終わった後も，建機は車のように所定の車庫に戻ってくるわけではなく作業した場所に停め置かれ，その場所も工事の進捗で変わることが大半である．このため，たとえばサービスマンがメンテナンスに行こうとしても，その建機がどこにいるのかを見つけることが容易ではなかった．

このような建機独特の背景から，建機の位置情報とサービスメータ(稼動状態)を把握するだけでも価値があるという判断のもと，コマツでは建機の位置および稼動情報を遠隔で収集，分析するシステム（KOMTRAX）を，1998 年という比較的早い時期から市場に導入した（荒川， 2002）．当時一般的になり始めた GPS をシステムに取り入れ，建機本体のセンサ情報と本体の位置情報を紐付けしたデータとして送る仕組みを実現した．位置情報と機械情報の両方を把握できるようになったことで，迅速，タイムリーなサービス，メンテナンスの提供が可能となった．現在では同様の仕組みは他の建機メーカーでも採用されているが（佐藤ら， 2013），コマツは他社に先駆けていち早く導入し，かつそれを標準装備としたことで，競合他社を大きく上回る 42 万台以上（2016 年 6 月現在）の建機データを世界各地から収集する仕組みを作り上げ，自社のビジネスに活用している．

この KOMTRAX に加えてダンプトラックの無人運行システム（永井, 2015）や，ICT を活用した情報化施工システム（四家ら，2016）なども，コマツは他の建機メーカー（箕輪，2016，古野，2017）に比べて先駆的に導入し，業界をリードしており，建機分野においてサービスやソリューションにビジネス領域を広げている先駆的企業と見られている．そのためコマツの事例を用いた検討も先行研究の中でいくつか行われており(青嶋ら，2014，絹川ら，2015，向井，2014)，建機分野におけるサービス化について有用な知見が示されている．

しかしながら，その重要な背景となっているであろう建機分野の特徴にまで踏み込んで検討した例はない．コマツの事例が成果を出すに至ったベースには，建機特有の使われ方や建機ビジネスの特徴，建機業界の歴史等があったと推察される．この部分を明らかにした上で詳細なデータを使いつつ分析および考察を行うことにより，建機分野において顧客価値創造を進めることができた枢要をより一層明確にしていくことができる．

このようなサービス，ソリューションへの転換においては，それを実現するためのベースとなる技術の獲得が不可欠である．技術が多様化，複雑化していく中にあっては，産学連携などの外部技術の獲得（いわゆるオープン・イノベーション）の必要性が叫ばれているが，従来，建機業界では自前主義の研究開発が主流となっていた．そのような建機業界にあって，産学連携を早くから積極的に活用しているのがコマツである．近年では 2015 年にコベルコ建機が広島大学に共同研究講座を設置した例（コベルコ建機，2015）はあるものの，コマツは Fig.1-2 に示した 2006 年開設の大阪大学共同研究講座(大阪大学，2006)や 2007 年の東京大学社会連携講座（コマツ， 2007）など，組織対組織の連携の仕組みをいち早く取り入れた企業のひとつであり，しかもその連携を 2017 年の現在に至るまで長い間継続している．最近では国立大学と民間企業の間の適用第一号となるクロスアポイントメント制度も大阪大学との間で開始(大阪大学， 2017)するなど，産学連携を自社の技術開発に積極的に活用している企業のひとつと見られている．

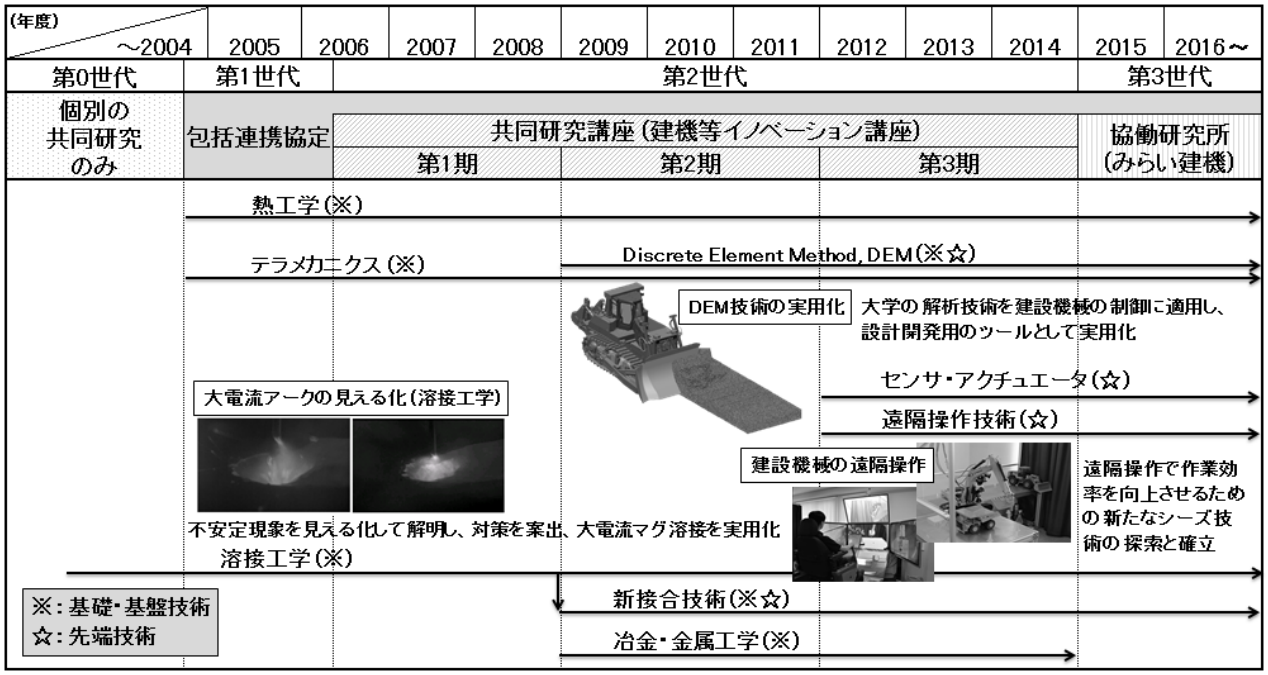

Fig.1-2 History of collaboration between Komatsu and Osaka University.

産学連携などのオープン・イノベーションの活用については，新規事業の創出を狙いとした分析や方法論の研究は多く見られる（真鍋ら，2010）．しかしながら、建機メーカーが建機という既存の事業ドメインの中でイノベーションを起こすためには，それとは異なった切り口でのアプローチが必要となる．コマツは独自のアプローチによって，オープン・イノベーションを自社の研究開発で有効に機能させていると考えられる．それを分析していくことで，建機メーカーやそれに近いビジネス環境に置かれているものづくりメーカーがオープン・イノベーションを活用していくための知見が得られると思われる．

著者はコマツの CTO（Chief Technology Officer）としてビジネスモデルやオープン・イノベーションなどの技術戦略立案に深くかかわってきた．その経験や具体的データに基づき，コマツが成功に至ったカギや要因について詳細な分析を行うことは，建機業界全体を発展させ，さらには他のものづくり企業の成長のための一助になると考え，この論文にまとめることとした．

本論文では建機業界に分野を絞ってそれらの背景や課題，対応策とその成果について研究し，何故建機分野でこのようなビジネスモデルの転換が早期に展開できたのか，その技術戦略を明らかにする．この研究成果は同じような課題を抱える他の産業界にも大いに参考になると考える．

1.1.2 建設機械とその使われ方の特徴

1.1.2.1 建設機械の概要

建設機械（建機）とは，土地造成・道路工事・河川整備等の土木工事や，鉱山・砕石場などの資源採掘において，土砂岩石を，破砕する，掘る，運搬する，積み込む，整地する，吊ることなどに使われる機械である．鉱山において使われる超大型の建設機械は，鉱山機械という名称で呼ばれる場合もある．

現場で求められる作業内容に応じて数々の建機が作られているが，油圧ショベル，ホイールローダ，ブルドーザ，ダンプトラック，モータグレーダ，クレーンなどが代表的な機械である．Fig.1-3 に主な建機を示す．

上述のように建機は広範な現場，用途で使われることから，その大きさもレンジも幅広い．一例を Fig.1-4 に

示したが，たとえば車両重量で比較して最大クラスと最小クラスの間には数十～千倍以上の開きがある．

このように，機種，サイズ，用途など様々であるが，それらを一括して建設機械と呼んでいる．

(a) Hydraulic excavator

(b) Bulldozer

(c) Wheel loader

(d) Dump truck

(e) Motor grader

(f) Rough terrain crane

Fig.1-3　Typical construction equipment.

(a) Hydraulic Excavator. Machine weight：300kg – 752,000kg, 2,500 times

(b) Bulldozer. Machine weight：3,940kg – 152,600kg, 39 times

(c) Wheel Loader. Machine weight：1,065kg – 216,400kg, 200 times

Fig.1-4　Size range of construction equipment.

1.1.2.2 建機の使われ方の特徴と特殊性

建機は，土木・建設工事現場や鉱山などの限られた人員のみが働く現場において，専門家（プロのオペレータ）が使う生産財である．そのため建機には，様々な環境の中で故障なく働き続ける耐久性や，低い維持費で使える経済性が求められる．

建機の特徴としてまずあげられるのは，使用される環境が多岐にわたることである．建機は道路工事や住宅地造成等の用途で都市部でももちろん使われるが，それればかりではない．ダムやトンネルなど人里離れた山間での工事や災害復旧現場，さらには砂塵ダストが立ち込める砂漠や空気の薄い標高 4000m の高地にある鉱山など，様々な非常に厳しい環境の中で稼働することも多い．使用される温度環境も，極寒のシベリアでのパイプライン敷設から，灼熱の熱帯地域まで，−50℃～55℃の広い範囲にわたる．Fig.1-5 に様々な環境で使用される建機の例を示した．建機には，このように過酷な場所においても故障なく働くことが求められる．

(a) Forestry work in tropical rainforest.

(b) Mining in highland desert.

(c) Pipeline laying in extremely cold district.

(d) Leveling of sand in muddy tailpond.

Fig.1-5　Construction equipment used in various harsh environments.

しかも建機には長い寿命が求められる．たとえば自動車と比較してみると，廃車までの乗用車の走行距離は長いもので 20 万km程度である．平均速度 40km/h で走行したとすると，20 万kmに要する時間は 5000 時間であり，これが乗用車に求められる時間単位で表した寿命となる．一方，建機では，一般の土木工事に使われる機械で 1～2 万時間程度，鉱山で使われる機械ではさらに長い寿命が求められる．鉱山では 24 時間 365 日稼動の現場も多くあり，そのような現場で機械は 10 年以上の間，働き続ける．仮に稼働率を 70%としても，年間の機械の稼働時間は 6000 時間強，これが 10 年以上で 6～7 万時間となる（Fig.1-6）．すなわち建機には自動車の数倍～10 倍以上の長寿命が求められる．

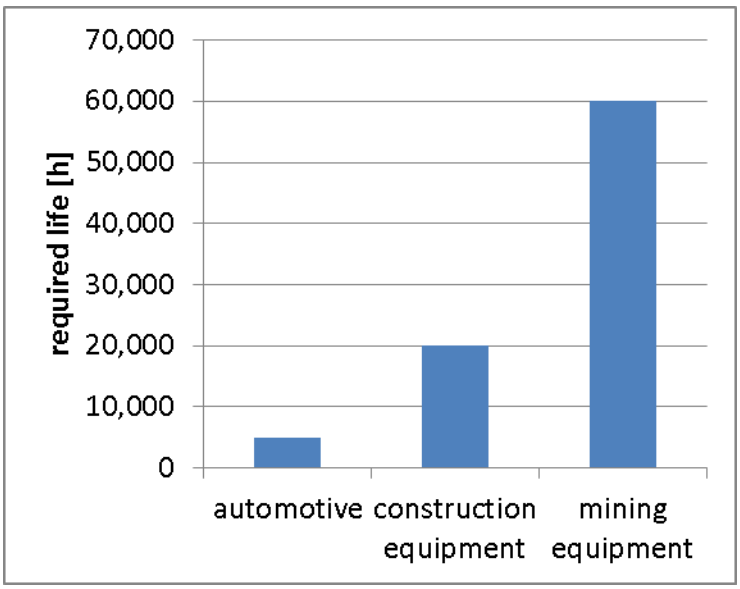

Fig.1-6　Typical life required for automotive and construction equipment.

さらに建機は一般的に使用中の負荷が高く過酷な使われ方をする．乗用車はもちろんのこと，それよりさらに負荷の高いトラック等の重量車と比べても，建機には非常に高い負荷がかかる．Fig.1-7 は我が国において建機および重量車（トラック等）のエンジン排ガス試験に適用される定常試験モードの負荷ポイントを，横軸にエンジン回転数，縦軸にエンジントルクをとったエンジン性能曲線上に示したものである．左下がアイドリング状態に相当し，右上に行くほど高負荷となる．エンジンの排ガス定常試験においては，いくつかの代表的な負荷ポイント（回転数，トルク）で測定を行い，それら測定値の重み付け平均で排ガス性能を評価する．図では各負荷ポイントの重み（ウェイトファクター）を円の大きさで表してある．

建機と重量車では使われ方に応じた異なる試験サイクルが適用されるため(DieselNet，2017)，負荷ポイント（円の位置）とその重み（円の大きさ）は両者で異なり，円の位置と大きさの違いが建機と重量車にかかる標準的な負荷の違いを表していることになる．大きな円が右上にたくさんあるほど，負荷状態が厳しいことを示している．これを見ると，トラック等の重量車では中速中負荷が主に使われ，また無負荷の割合もかなり高いのに対し，建機では最高出力点を含む高速高負荷の比率が高い．図中に黒線で示した性能曲線を使って定常試験モードにおける平均負荷率（定格出力に対する割合）を具体的に計算してみると，重量車が約 23%であるのに対し，建機では 57%と約 2.5 倍の高負荷となる．さらに建機は，既に述べたように非常に広範な使われ方をすることから，実際の用途によってはさらに高負荷になる場合も少なくない．

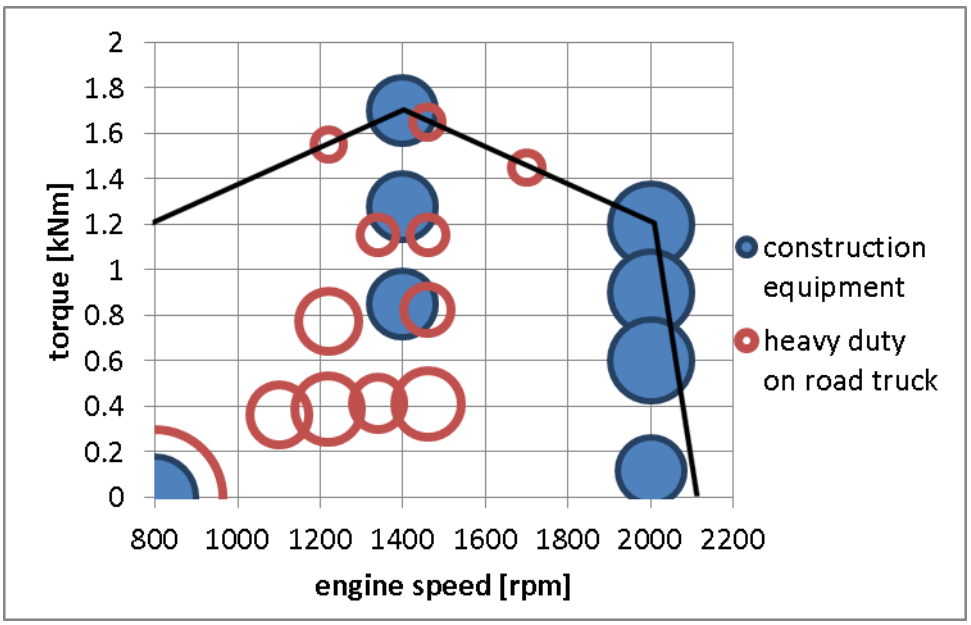

Fig.1-5　Test points of two steady state test cycles on engine performance map.
Circle size represents weight factor of each test point.

また一日当たりの稼働時間も一般に長い場合が多い．鉱山では上に述べたようにほぼ 24 時間休まない勤務体制のオペレーション現場もある．

このように建機は様々な過酷な環境下で，高い負荷率で長い時間使用されるという特徴がある．そのため，購入コストに比べてその後の運用にかかるコストの方が一般に大きくなることも，建機の特徴としてあげられる．Fig.1-8 に一例を示したように，車両購入にかかるイニシャルコストに比べて，その後の廃車に至るまでの使用中に発生する修理・メンテナンス費，燃料費，人件費等といったオペレーティングコストの合計の方が何倍も大きくなる．建機の顧客が負担するコストを考える上では，このような車両の生涯の運用にかかるトータルのコスト，すなわちライフサイクルコスト（LCC）で考えることが重要となる．

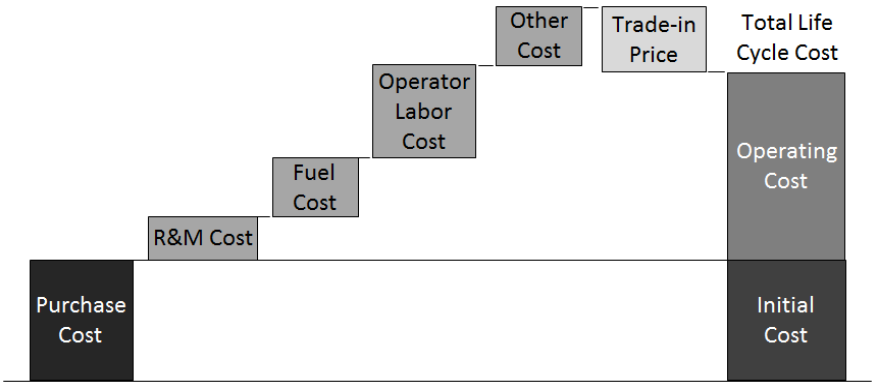

Fig.1-8　Life cycle cost of construction equipment.

1.1.3 日本の建機業界がおかれていた状況と課題

1.1.3.1 1990 年ごろまでの状況と対応

本論文では建機分野の技術戦略について論じるが，そのような技術戦略が必要とされるに至った業界の経営環境について，それ以前の歴史も振り返りつつ述べてみたい．1960 年頃から 2000 年頃にかけて，日本の建機メーカーを取り巻く経営環境は，何回か厳しい状況に見舞われてきた．

1960 年代には，貿易・為替自由化の大綱が決定され，建機を含む多数の品目の輸入自由化が進められていった(日本建設機械工業会，2010)．他の多くの製造業では政府の保護を受けるケースもあったが，建機は例外とされ，日本の産業界の中で最も早く貿易自由化の洗礼を受けた．欧米のメーカーに比べてまだ性能面で格差があった国産の建機にとっては大きな危機であったが，日本メーカーは性能と品質の向上で対応した．欧米メーカーとの技術提携と自社開発という二つの手段で性能と品質の向上を図ることで自由化の危機を切り抜けた．1963 年には高い技術的と競争力を持つ世界トップの建機メーカーが日本への進出を認可されたが，日本の建機メーカーはこれを契機に耐久性・信頼性の向上を一層推し進めることで，さらに高い品質と性能を獲得し競争力を高めていった．

しかしながら，この成功が次の新たな試練につながった．1980 年代に油圧ショベルの輸出が急増していった結果，1990 年前後になると欧米での経済摩擦に見舞われ，欧州においては輸出する建機に対し高い関税率が課されることとなった．これに対して日本メーカーは，短期的には最低輸出価格を設ける自主規制で対応したが，さらに中長期を見据えた対応としては，現地生産や海外メーカーとの提携を進めた．こうした対応を経て経済摩擦という危機を切り抜けるとともに，結果として日本の建機メーカーのグローバル化が大いに進むこととなった．

1.1.3.2 1990 年代以降の状況と課題

以上のようにして日本の建機メーカーは，過去に見舞われた厳しい経営環境を，性能・品質の向上とグローバル化という戦略で切り抜けてきた．しかしながら1990 年代から2000 年代にかけてまた新たな経営上の課題に直面した．

1980 年代後半の住宅バブルのころには，油圧ショベルを中心に日本国内に大きな建機市場があり，国内の油圧ショベルメーカーも 10 社以上を数えた．しかしバブル景気の崩壊に伴って建設工事量が縮小し，油圧ショベルの需要も減少に転じた．日本の建設投資はバブル期 1992 年の 84 兆円をピークとして減り続け，それに伴って日本の建機市場も落ち込み，Fig.1-9 に示したように国内の建機需要(主要 7 建機，台数ベース)は 1990 年をピークとして 2000 年には半減してしまった．これに円高も加わり，日本の建機メーカーの売上は大きく下落した．

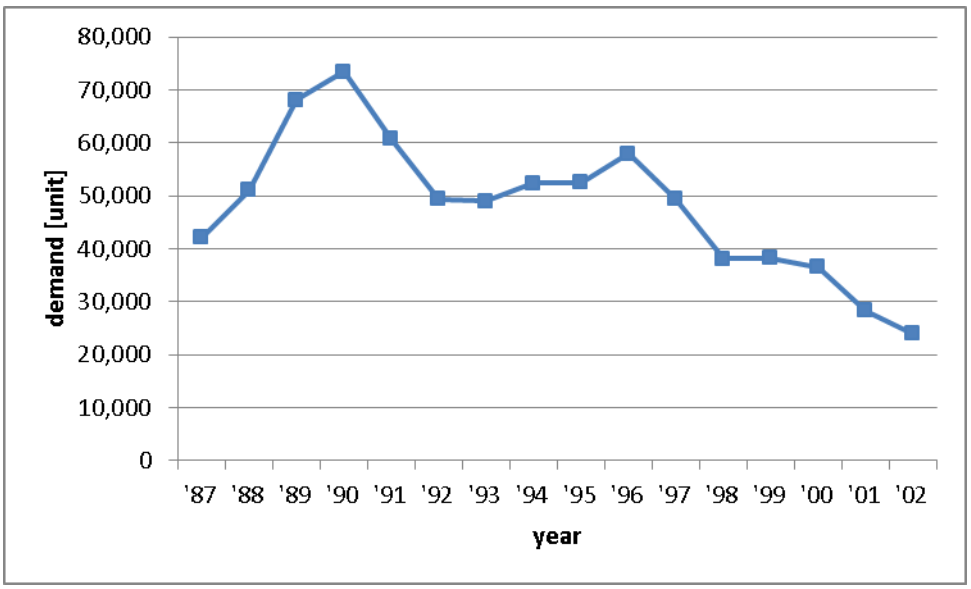

Fig.1-9 Demand of seven major construction equipment in Japan.
(Seven major equipment : crawler-type hydraulic excavator, wheel-type hydraulic excavator, wheel loader, bulldozer, rigid-type dump truck, articulated dump truck and motor grader)

このような状況の中，多くの建機メーカーが激しい販売競争を繰り広げた．市場の限られたパイを狙ったシェア獲得合戦は激しい価格競争を招き，販売価格と利益率の低下につながってしまった．その結果，建機業界はほとんど利益が出ないという深刻な状況に陥った．たとえば Fig.1-10 に示したように，国内最大手のコマツの 2001 年度の建機ビジネス利益率はわずか 0.1%であり，建機を何台売ってもほとんど利益につながらないような状況にまで追い込まれてしまった．

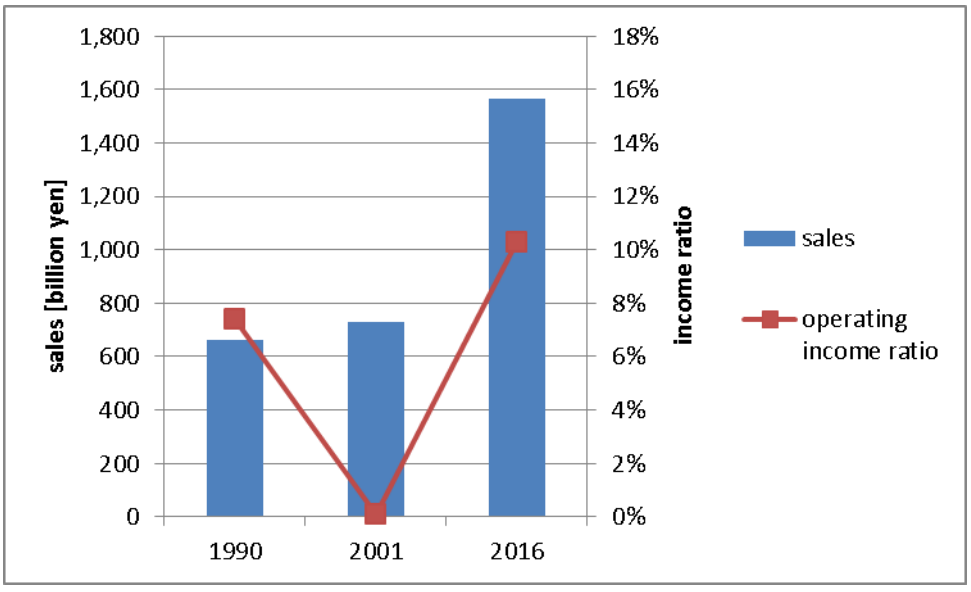

Fig.1-10 Sales and income ratio of Komatsu construction equipment business in 1990, 2001 and 2016.

価格競争によって利益の出ない体質となってしまったこのような状況を，どのような戦略によって打破するか，それが建機業界の大きな課題であった．

1.1.4 課題解決のための技術戦略

1.1.4.1 建機分野における顧客価値創造のビジネスモデル

これまでで述べたように，建機業界は 2000 年代の初めには，激しい価格競争の結果，いくら売っても利益が出ない業界体質となってしまっていた．もちろん各建機メーカーでは，従来品の価格競争だけではなく，機能向上した新製品の導入にも努めた． しかし単に機械本体の機能や性能を多少向上しただけでは，機能向上分のコストを販売価に転嫁することはできなかった． 結局は廉価な他社製品との競争になってしまい， 機能向上に見合うだけの価格で顧客に購入してもらうことは難しかった．

このことは，単に機械本体の機能や性能を多少向上しただけでは，顧客はその機能や性能に対しさほどの魅力を感じていないということを意味していた．すなわち建機メーカーは，顧客が本当に必要としている機能，高いお金を払ってでも買いたいと思わせる商品を提供できていないということであった．これは言い換えると，顧客が本当に求めているものを見つけて，それを顧客に提供することができれば，利益の出ない価格競争から脱することができる可能性があるということを意味している．すなわち単なる機械ではなく，顧客にとっての価値を提供するということである．

それには，「顧客が本当に求めているものは何か」，が最大のポイントとなる．顧客が解決すべき課題を明らかにすることと，それを解決する手段を提供することが顧客価値につながる．QC 手法やマーケティング論で提唱されている，顧客のニーズや潜在的欲求(ウォンツ)を具現化すべきであるという考え方(天坂，2007，Kotler and Keller，2014)である．そのヒントは 1.1.2 に書いた建機分野の特徴や特殊性に隠れている．

まず建機は基本的に生産財であり，その稼働は顧客収益に直結する．したがって高い稼働率を確保すること，そのためのサポートをすることが顧客にとっての価値となりうる．

また，すでに述べたように建機は使用される場所が屋外で不特定で，使われ方が幅広く多岐にわたり，使用負荷が一般的に過酷である．加えて自動化やシステム化が遅れている．つまり生産財の中でも建機の顧客現場には多くの課題があり，潜在的なこれらの課題を顕在化して解決策を検討することは顧客に貢献できる可能性が高い．そのためのベースとなるのが，建機がどこで，どれくらい，どのように稼働しているかといった建機の稼働情報であると考えられる．顧客が所有する建機の稼働状況を定量的なデータとして把握し分析できれば，その中に隠れている様々な課題を明らかにすることができる．その解決策を検討し，種々のサービスやサポート等の形で顧客へ提供できれば，顧客価値につながるはずである．

さらに建機は購入コストに比べてその後の運用にかかるコストの方が一般に大きいため，1.1.2.2 目において述べたように顧客にとっての経済性はライフサイクルコスト(LCC)で考えるべきである．しかしながら一般に LCC の中には不確実要素も多く含まれ，データ化や定量的評価が難しい．これを何らかの方法で定量的に数値化できれば，より高い精度で LCC を見積もることができるようになる．それに基づいて LCC 低減策を講じることが可能となり，顧客の価値に直結すると考えられる．

このように建機分野におけるビジネスを製品のライフサイクル全体に渡っての価値を最大化させる方向に変革することで，旧来の製品売り切り型で価格競争のビジネスから脱却できる．そのためには製品の稼働状況をデータ化して把握し，製品とサービスを組み合わせたサービス提供型ビジネスとして価値を高めることが必要である．それによって顧客との長期的な関係を築き，継続的なビジネスへの転換を図ることができると考える．

稼働状況や LCC の定量的なデータ化や把握には，ICT 技術などの新しい技術を活用していくことが有効かつ必要である．そのような技術を使って新たな切り口でのイノベーションを創生することが，顧客に対する価値提供につながっていく．

1.1.4.2 産学連携を中心にしたオープン・イノベーションの積極的活用

顧客が本当に求めている価値を提供することが，利益の出ない価格競争から脱するためのカギであり，そのためには稼働状況や LCC の定量的なデータ化や把握という，新たな切り口でのイノベーションを創生することが必要であると述べた．そうすると次に考えねばならないのは，そのようなイノベーションを起こすための研究開発をどのような戦略で行っていくかである．

それまでの建機メーカーは，必要とされる技術は自らが研究開発する，いわゆる自前主義が多かった．かつてのように技術の広がりが狭く，特定の分野に限定されるうちはそれが成立していた．しかしながら，建機に使われる技術が多岐にわたるようになり，かつ個々の技術が深化・高度化していく状況になると，自社内に蓄積のない新たな技術が必要とされ，すべての研究開発を自社内で行う自前主義では早晩立ち行かなくなる事態になりつつあった．

このような状況下において，新しい技術を活用した新たなイノベーションによって LCC を低減し顧客価値を創出するには，社内リソースだけでは対応が難しいことは明らかであり，研究開発の外部化，すなわちオープン・イノベーション(Chesbrough，2004)が不可欠であった．オープン・イノベーションには種々の戦略があるが(真鍋ら，2010)，自前主義の強かった建機メーカーではまず第一歩としてインバウンド型の取り組みが検討された．特に大学等との共同研究による産学連携は，大学等の有する高度な知恵，知見や，研究者ネットワークを活かして，中長期的スパンで飛躍的なイノベーションを創出していくのに有効な手段の一つと考えられた．

このように建機分野においては産学連携等のオープン・イノベーションを効率的に活用して研究開発を加速していくことが有効かつ不可避の状況にあったが，いくつかの課題があった．中でも産学連携における一般的問題点として，必ずしも製品化などの明瞭な成果に結びついていないということが挙げられていた．これは現在においてもなお大きな課題とされており，Fig.1-11 に文部科学省による「民間企業の研究活動に関する調査報告」の結果を示したとおり，2013 年調査で回答者の 46.2%(文部科学省，2014)，2014 年調査で 43.3%(文部科学省，2015)，2016 年調査でも 33.2%(文部科学省，2017)が，国内大学との連携において「実用化につながる研究成果が少ない」ことが問題であるとしている．改善傾向にはあるものの，いずれの調査においても国内大学との連携における最大の問題点となっている．

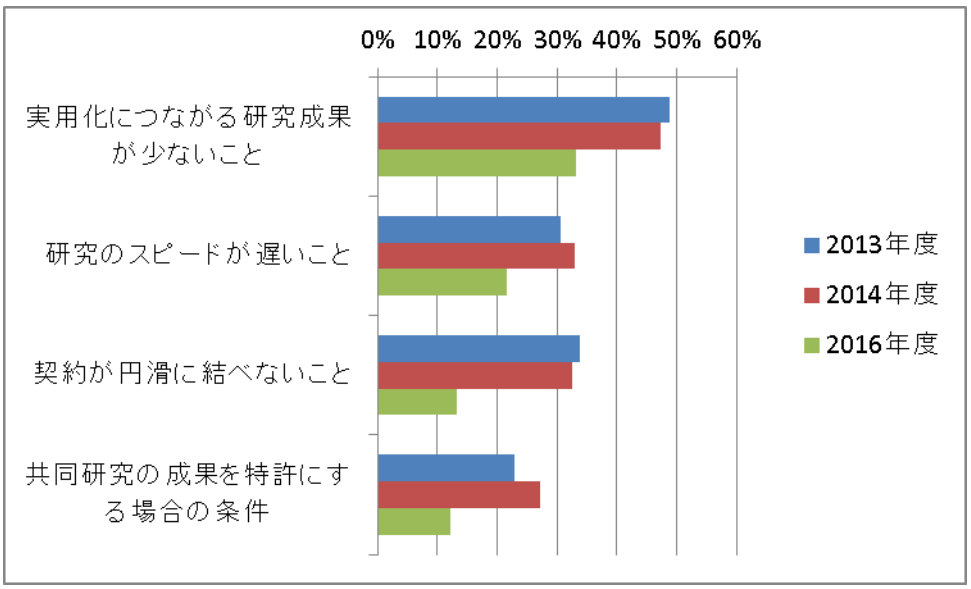

Fig.1-11　Problems on university side in industry-university collaboration. (based on MEXT 2014, MEXT 2015 and MEXT 2017)

産学連携を活用して，顧客価値創造につながる新たなイノベーションを創出していくためには，この問題点を解決できるような連携の形態や仕組み，およびそのマネジメントが求められる．

産学連携の形態は、かつては奨学寄附金や個別の共同研究が主流であったが，最近では組織対組織の大型連携が増えてきている．大型連携の形態としては，共同研究講座(大阪大学，2006)のように企業側の関与度が大きいタイプと，寄附講座に代表されるように大学主導で研究が進められるタイプがある．それぞれに特徴があり連携の目的に応じて使い分けられている．

建機分野においては，新規事業の創出ではなく建機という事業ドメインの中での飛躍的イノベーションが求められていたことから，企業側から技術戦略や将来ビジョンを提示し，大学と協力して課題を解決することが成功へのカギと考えられた．そのような形で産学連携を活用するためには，大学の自由な発想を活かしつつも，企業側の関与度が大きい共同研究講座等の形態が望ましい．Fig.1-2 に示したように，コマツでは共同研究講座等の仕組みを比較的早い時期から先駆的に取り入れ，積極的に活用を図ることで，産学連携を成果につなげてきた．また共同研究講座等では，企業が共同研究の場に一緒にいることになるため，大学シーズの企業への橋渡しや人材育成・交流が活発になる点からも共同研究成果の実用化につながることが期待できる．

産学連携からイノベーション創出につなげるためには，連携形態に加えてマネジメントも重要である．新たな技術開発や技術移転のマネジメントでよく用いられているモデルとしてリニアモデル(Kline，1992) がある．シンプルでわかりやすいモデルであるが，それゆえに産学連携の更なる活用を図ろうとする際には，このモデルだけではマネジメントが難しいケースも出てくる．特に建機分野においては，新規事業の創出ではなく建機という事業ドメインの中での飛躍的イノベーションが必要とされていたので，それに合った改良モデルに基づくマネジメントが望まれた．

既存の事業ドメインにおける産学連携においては，既に存在する商品やモノづくりに潜む課題やニーズを抽出し，大学の力を活用して現象の見える化や理論化をすることが，高い確率で新たなイノベーションへとつ

ながるひとつの道となる可能性が高い. このような形態の産学連携共同研究をマネジメントするために有効な考え方を提示することが, 建機メーカーなどにおける産学連携を効果的に推進するために必要かつ有効であると考えられる.

一方で産学連携は大学の知恵や知見を活用した中長期的研究開発には非常に有効な手段であるが, より短い期間で成果が求められる場合にはベンチャーとの連携などの産産連携の方がふさわしい場合がある. オープン・イノベーションを活用していくに当たっては, 研究開発プロジェクトに応じて産学, 産産連携を上手に使い分けていくことが大切である. Fig.1-12 に産学連携および産産連携の使い分けを示した.

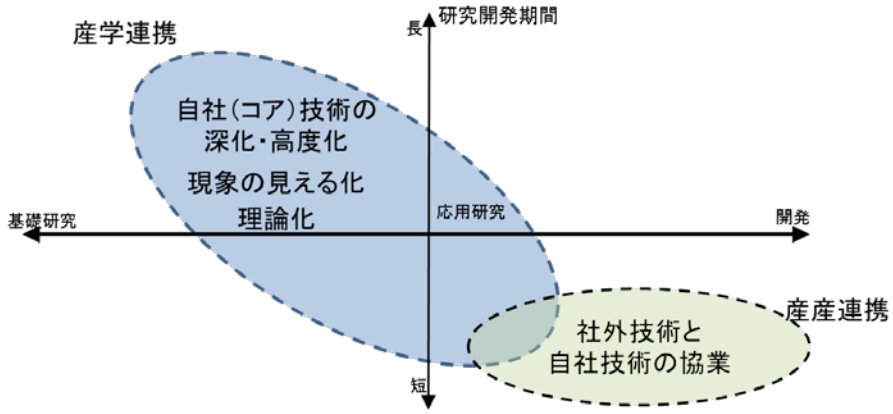

Fig. 1-12 Scope of collaboration with academia and industry.

1.1.5 本論文の目的と概要

本論文では, 激しい価格競争の下にあった建機業界において, 利益の出る体質に変えていくための技術戦略についてコマツの事例を題材に検討し, 以下の二つの論点から, その要諦を明らかにすることを目的とする.

・建機分野における LCC 低減による顧客価値創造のビジネスモデル

・それを実現する産学連携を中心にしたオープン・イノベーションの積極的活用

「建機分野における LCC 低減による顧客価値創造のビジネスモデル」とは, 顧客現場の稼働状況を定量的にデータ化して把握, 分析することを通じて, 顧客自身も気づいていないウォンツや課題の発見とソリューションの提供によって顧客価値を高めようとするものである. このビジネスモデルを実践するためには, 顧客現場の稼働状況をデータ化して把握するための仕組みが不可欠である. 本論文で題材として取り上げたコマツでは, 遠隔地にいる建機から自動で情報を収集して車両監視・管理・分析を行うテレマティクスサービスの一種である KOMTRAX を開発, 導入し, 建機や顧客現場のデータ化と分析に活用している.

KOMTRAX で得られたデータの分析から顧客の抱える課題が顕在化されれば, それに対する具体的な解決策の考案, 実現により顧客価値を創造し, 顧客の満足度を高めることにつなげられる. 既に述べたように, 顧客である建機の所有者にとっては, ライフサイクルコスト(LCC)をいかに減らすかが大きな関心事であり, 顧客にとっての価値のひとつである. KOMTRAX を活用することによって, 顧客が所有する建機がどのような使われ方をしているか, どのような状態にあるかが把握できるようになり, そこから LCC を低減するための着眼点, たとえば運転方法の問題点や車両整備の課題などが浮かび上がってくる. 着眼点が明らかになれば, 解決の

ための新たなアイデアや技術を創出し，具体的な LCC 低減方策を顧客に提供することができる．KOMTRAX は顧客の気づかないウォンツや課題を発見し，新たな顧客価値を数多く生み出せる強力なツールとなっており，これが現在のコマツの堅実な経営状況の基盤になっていると考えられる．

「産学連携を中心にしたオープン・イノベーションの積極的活用」においては，建機という事業ドメインの中での飛躍的イノベーションを実現するために，研究成果を実用化に結びつけるためのマネジメントが求められていた．コマツでは，従来のリニアモデルを発展させた技術循環モデルを考案・採用することにより，産学連携のマネジメントを改善した．技術循環モデルは，既存技術を出発点にした原理の解明もイノベーションの源泉になりうる，という新たな認識に基づき，この考え方をつけ加えたモデルである．既に存在する商品やモノづくりに潜む課題やニーズを抽出し，大学の力を活用して現象の見える化や理論化をすることが，企業にとって有用な成果を生み出す．このモデルを産学連携のマネジメントに適用することにより，実用化につながる成功事例を創出し，成功確率を高めることにつながった．

研究成果を実用化に結びつけるための方策としては，産学連携における組織的な枠組みも有効であり，そのひとつに共同研究講座がある．共同研究講座という場を大学と企業で共有することにより，双方のニーズとシーズを理解し，企業での実用を見据えた検証が効率よく行えるようになる．場の共有は，大学，企業双方にとって人材育成・交流の場としても有効である．また共同研究講座では，企業が自らのニーズに基づく新たな技術課題に取組むことが可能である．このため，建機メーカーなどの機械製造業にとって重要であるにもかかわらず大学における研究活動が縮小しつつある，溶接，金属材料，歯車等の機械要素といった分野(日本機械工業連合会，2009)についても、研究テーマを設定し研究資金を提供することができる．共同研究講座という場によって，テーマや予算に加えて研究者も確保され，安定した研究活動が大学内で維持される．大学での研究を活性化させることで，このような分野を維持発展させ，企業の競争力を強化させることにつながる．

このような技術戦略に基づいて経営を進めた結果，コマツでは Fig.1-10 に示したように 2001 年度に 0.1%であった建機ビジネスの利益率が，2016 年度には 10.6%と大幅に向上した．その実現に至らしめた技術戦略の詳細について，実際の事例を参照しながら本論文で考察していく．

1.2. 本論文の構成

本論文は，本章の第 1 章緒論に引き続いて各論が第 2 章から第 6 章で構成され，最後に全体のまとめとして第 7 章で結論を述べている．Fig.1-13 に本論文の全体構成を示す．まず，第 2 章と第 3 章において，顧客価値創造のためのビジネスモデルの考え方と，それを実行したテレマティクスシステム等について事例として分析した．引き続き，第 4 章と第 5 章では，外部技術の導入によるビジネスモデルの実現の事例として，産学連携の進め方について述べた．第 6 章は，産学連携と並んでオープン・イノベーションのもう一つの柱である産産連携による外部技術導入について概略を述べた．以下に各章の詳細を述べる．

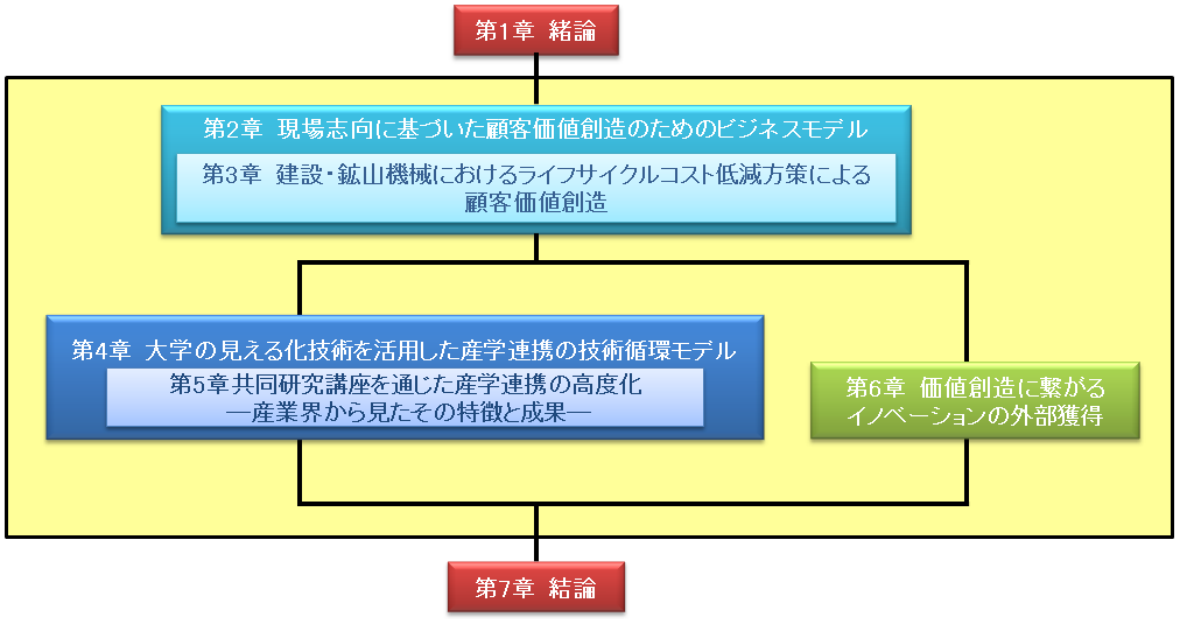

Fig. 1-13 Total framework of this paper.

第 2 章「現場志向に基づいた顧客価値創造のためのビジネスモデル」では，コマツのビジネスを事例として，新たな顧客価値創造のためのビジネスモデルの考え方について論述する．主に BtoB のモノづくり企業を対象として，そのビジネスの対象領域を従来のモノづくりの強みである優位性のある商品(モノ)はもとより，バリューチェーン下流のサービス・ソリューションまで拡大させたモデルである．ここではサービスとは機械そのものの稼動率や生産性を高めること，ソリューションとは顧客の現場にまで入り込んでその課題を解決することと定義した．データに基づいた分析と顧客との対話から顧客の潜在的欲求を見出すとともに，それを実現するために自前技術とオープン・イノベーションを最大限活用して新たな顧客価値創造を実現することが重要であることを示した．

第 3 章「建設・鉱山機械におけるライフサイクルコスト低減方策による顧客価値創造」では，第 2 章で述べたビジネスモデルに基づく顧客価値の中で特に重要な，顧客が負担するライフサイクルコスト(LCC)低減に着目して詳細を検討したものである．LCC を低減するために LCC の中に存在する不確実な要素を減らして，より定量的に把握できるようにするための考え方を提示するとともに，適用事例を通じて効果を示した．

第 4 章「大学の見える化技術を活用した産学連携の技術循環モデル」では，第 2 章，第 3 章で示したビジネスモデルを実現させる手段として重要なオープン・イノベーションの一つである産学連携をマネジメントするための考え方を提案している．産学連携によるイノベーションプロセスを整理した技術循環モデルによって，プロセスの各段階における大学と企業の役割分担や連携のあり方を実施例に基づいて論述した．

第 5 章「共同研究講座を通じた産学連携の高度化―産業界から見たその特徴と成果―」では，第 4 章で述べた産学連携の組織的な枠組みの一つである大阪大学における共同研究講座について取り上げた．共同研究講座は，従来の個別の共同研究に比べて，大学シーズの企業への橋渡しや人材育成・交流の機能が高まる．それに加えて，産業界にとって重要であるが大学では維持が難しくなっている伝統的な一部の基礎・基盤技術分野を，大学内で維持・発展させるための方策として有効であり，産学連携の新しい役割を担えることを示した．

第 6 章「価値創造に繋がるイノベーションの社外獲得」では，第 2 章，第 3 章で示したビジネスモデルの実現手段として重要なオープン・イノベーションの一つとして産産連携についても取り上げた．顧客価値創造を効率的に実現するために，単独の企業内では不足するが世の中ではすでに実現している新規技術を産産連携によって早期に獲得するための方策について，事例と併せて述べた．

以上を受けて，第7 章の結論で本論文全体を総括して，コマツの事例の分析から，建機分野の顧客価値創造のためのビジネスモデルはモノからサービス，ソリューションへと変換して顧客価値を創造していくことが重要であり，またそれを実現するための顧客課題の把握やオープン・イノベーション等による技術獲得が有効であると結論付けた．

本論文ではコマツにおける事例を題材として，価格競争から脱して利益の出る体質へと変革していくための技術戦略について述べてきた．ここで展開した議論は建機分野を対象としたものであるが，顧客価値創造の考え方は他の製造業へも適用が可能である．特に顧客の現場に多くの隠れた課題が残されている分野においては，本論文で提示したような方策が参考になるものと考えられる．

[参考文献]

天坂格郎，ニュージャパンモデル サイエンス TQM-戦略的品質経営の理論と実際，丸善出版，(2007).

青嶋稔，小島健一，臼田慎輔，中山太一郎，ICT の活用を通じた B2B 製造業によるビジネスモデル変革 プロセス価値の創出に向けて，知的資産創造，Vol.22，No.8，(2014) p.16.

新井民夫，サービス工学の提案-製品のサービス化-，精密工学会誌，Vol.78，No.3，(2012) p.179.

荒川秀治，KOMTRAX STEP 2 の開発と展開，KOMATSU TECHNICAL REPORT，Vol.48，No.150，(2002) p.8.

Chesbrough，Henry W.，OPEN INNOVATION-ハーバード流イノベーション戦略のすべて-，産業能率大学出版部，(2004).

DieselNet，Emission Standards - Emission Test Cycles - ISO 8178，(2001). https://www.dieselnet.com/standards/cycles/iso8178.php (accessed on 31 Aug. 2017).

DieselNet，Emission Standards - Emission Test Cycles - World Harmonized Stationary Cycle (WHSC)，(2017). https://www.dieselnet.com/standards/cycles/whsc.php (accessed on 31 Aug. 2017).

藤川佳則，製造業のサービス化：「サービス・ドミナント・ロジック」による考察，Panasonic Technical Journal，Vol.58，No.3，(2012) p.4.

藤本好宏，吉田康之，谷崇広，末吉康則，グローバルに展開する水環境インフラ IoT ソリューションシステム KSIS(Kubota Smart Infrastructure System)，クボタ技報，No.50，(2017) p.48.

古野義紀，建設機能の IoT 化に向けて，フルードパワー，Vol.31，No.2，(2017) P.4.

平馬浩一，若林泰彦，IoT による設備管理(変圧器リモート診断)，明電時報，No.353，(2016) p.48.

JFE エンジニアリング，プラント最適操業支援システム「JFE ハイパーリモート」，JFE 技報，No.35，(2015) p.66.

絹川真哉，田中辰雄，西尾好司，元橋一之，ビッグデータを用いたイノベーションのトレンドと事例研究，RIETI Policy Discussion Paper，Series 15-P-015，(2015).

Kline，S. J.，イノベーション・スタイル―日米の社会技術システム変革の相違―，アグネ承風社，(1992).

コベルコ建機，広島大学との共同研究講座設置について，コベルコ建機ニュースリリース 2015.6.29.

コマツ，東京大学大学院工学系研究科と「社会連携講座」設置の契約を締結，コマツニュースリリース，2007.7.20.
Kotler, P. and Keller, K. L.，コトラー&ケラーのマーケティング・マネジメント 第 12 版，丸善出版，(2014).
前川純一，GE の航空機エンジンサービスに学ぶ IoT の本質的価値，月刊 事業構想，No.7，(2015).
真鍋誠司，安本雅典，オープン・イノベーションの諸相−文献サーベイ−，研究技術計画，Vol.25，No.1，(2010) p.8.
箕輪利通，シミュレータ活用による AHS(ダンプトラック自律運転システム)の技術開発，骨材資源，Vol.48，No.189，(2016) p.33.
みずほ銀行産業調査部，日本産業の競争力強化に向けて−日本が輝きを取り戻すための処方箋を考える−，みずほ産業調査，No.42，(2013).
文部科学省，民間企業の研究活動に関する調査報告 2013，NISTEP REPORT No.160，(2014).
文部科学省，民間企業の研究活動に関する調査報告 2014，NISTEP REPORT No.163，(2015).
文部科学省，民間企業の研究活動に関する調査報告 2016，NISTEP REPORT No.173，(2017).
森雅彦，藤嶋誠，工作機械の遠隔監視システム，IE レビュー，Vol.47，No.4，(2006) p.34.
森村弘一，桑田知江，永井秀明，松本拓俊，三上尚高，お客様に安心いただけるサービス技術，三菱重工技報，Vol.48，No.1，(2011) p.65.
向井悠一朗，経営理念の策定と浸透−コマツウェイの事例−，赤門マネジメント・レビュー，Vol.13，No.7,(2014) p.247.
永井孝雄，ICT でインテリジェント化する建設・鉱山機械，日本機械学会誌，Vol.118，No.1160，(2015) p.392.
社団法人 日本建設機械工業会，日本建設機械工業会 20 年のあゆみ，(2010)
社団法人 日本機械工業連合会，平成 20 年度 機械工業の基盤技術に関する研究開発動向調査―機械工業の基盤技術に関する調査専門部会報告書，社団法人日本機械工業連合会，東京，(2009).
大阪大学男女協働推進センター，全国の国立大学に先駆けて、大阪大学と企業とのクロスアポイントメント制度が始動しました。，大阪大学プレスリリース，2017.4.17.
大阪大学工学研究科総務課，共同研究講座の設置について，大阪大学プレスリリース，2006.4.26.
佐藤潤一，角谷有司，馬場隆夫，古井丸敏行，永里明広，白井丈士，製造業における M2M 効果の創出−Global e−Service on TWX−21 の展望−，日立評論，Vol.95，No.10，(2013) p.32.
四家千佳史，小野寺昭則，高橋正光，建機メーカーが描く ICT 建機施工を中心とした建設現場の未来(「スマートコンストラクション」の導入)，KOMATSU TECHNICAL REPORT，Vol.61，No.168，(2016) p.2.

第 2 章　現場志向に基づいた顧客価値創造のためのビジネスモデル

2.1. 緒言

今日，我が国並びに世界における市場はそのグローバル化と共に大きく変革し，製造業においてもかつての狭義のモノづくり中心に付加価値を生み出すビジネスモデルは成立しなくなっている(木村，2003，2006)．モノづくり企業においても，Fig.2-1 に示すようなバリューチェーンの上流と下流において付加価値を生み出すいわゆるスマイルカーブ化に対応した戦略にシフトしていく必要がある．スマイルカーブとは，製品のバリューチェーンにおいて，従来は高かった加工組立の付加価値による競争力がグローバルな競争が進展するもとで低下し，新規技術・素材・部品やサービス等というバリューチェーンの上下流の付加価値の重要性が上昇したとする考え方である．それに対応して，多くのモノづくり企業がバリューチェーンの上下流に着目した戦略にシフトしようとしている．

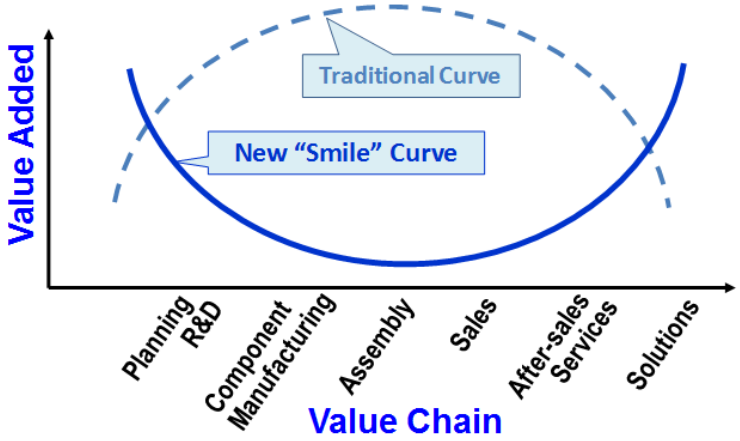

Fig.2-1　New value-added shape, smile curve.

しかしながら，モノづくり企業がスマイルカーブに基づいた戦略を行う際には，付加価値の高い領域にのみ目を向けるのではなく，従来から持つ中間の加工組立の強みを活かした上で，バリューチェーンの上流や下流で付加価値を創造するビジネスモデルを構築することが肝要である．摺り合わせ技術で性能が決まっているタイプの商品(モノ)を扱うモノづくり企業においては，商品(モノ)による差別化の併用は特に有効である．

本論文で事例を取り上げる建設・鉱山機械メーカのコマツも，そのような摺り合わせ型のモノづくり企業である。企業対企業(BtoB)のビジネスを行う中で，優位性のある商品(モノ)をベースに，バリューチェーンの下流であるサービス，ソリューションを付加することで顧客価値を高める取り組みを進めている．

顧客価値を高める取り組みとして，QC 手法やマーケティング論では，顧客のニーズや潜在的欲求(ウォンツ)を具現化すべきであるという考え方が提唱されている(天坂，2007，Kotler and Keller，2014)．ニーズとウォンツという言葉の定義には考え方がいくつかあるが，ここではニーズをすでに顧客の中で顕在化している欲求，ウォンツを潜在的であるがより根源的な欲求であるとして用いる．新たに顧客価値を創造するためには，顧客のウォンツの掘り起こしとそれを実現するための技術確立の両輪が重要である．前者はバリューチェーンの下流に，後者は上流に位置するものであり，どちらも欠かすことができない．本章においてはこの二つの手段を用いて，新たな顧客価値を創造するビジネスモデルについて考察した．

顧客の潜在的欲求としてのウォンツを探る手法は，ICT が発達する前は取得できる情報量が不足しており，そのために属人的かつ偏在的な分析になりがちであった．しかし，ICT の進化によって，得られる情報量，種類が著しく増大したため，新たな取り組みが可能になっている．コマツが 2001 年に本格導入したテレマティクスサービスがその代表例であり，導入の結果として，ICT を用いた客観的かつ広範囲なデータの分析とそれを基にした顧客との対話促進という新たな手段を得ることになった．この手法を用いて効果的にウォンツを具現化することを可能にした．

新たな顧客価値を創造するために，対象となる製品の機能と顧客のニーズやウォンツの関係を分析する手法として，狩野モデル(狩野，1984)が知られている．狩野モデルは，Fig.2-2 に示すように製品・サービス等の品質要素を物理的充足(横軸)と使用者の満足度(縦軸)の二軸で整理したうえで，その特徴によって分類したものである．その中には，なければ不満だがあれば当たり前と判断される「当たり前品質」，充足されなければ不満，充足されれば満足となる「一元的品質」，なくても仕方ない，あれば満足となる「魅力的品質」の主に三種類の品質があるとされる．品質の種類によってそれを追求する方法論が異なるであろうとする考え方である．本論文で潜在的欲求として定義するウォンツは，この中ではなくても仕方ない，あれば満足となる「魅力的品質」を充足することに比較的近いと考えられるが，潜在的ではあるが本質的欲求であるウォンツは，いったん顕在化すればなくても仕方ないと判断されるほど軽視できる品質とは考えにくく，やや性質が異なる．元々，狩野モデルは一般消費者を対象とした BtoC における考え方が基本であり，企業が顧客である BtoB に対してそのまま適用することは難しい場合がある．

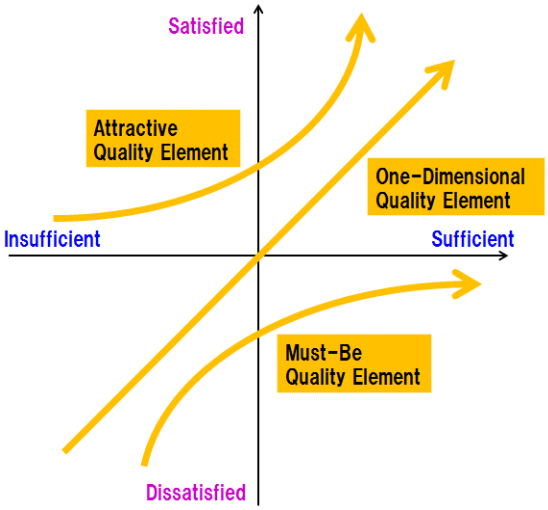

Fig.2-2　Kano model.

一般消費者を対象とした BtoC では製品やサービス等の使用目的は使用者の属性に応じて多岐に亘り，定量化が難しい要素が多く含まれている．そのため，狩野モデルのような使用者の満足度を考慮したモデルが有効である．一方で，建設・鉱山機械のような BtoB の生産財においては，顧客は限定され，その使用目的も明確であることが多く，データに基づいた一元的かつ定量的な判断が有効になる．それゆえに，ICT を用いた客観的かつ広範囲なデータ分析を行い，顧客とそれを共有して課題を共に見出す手法が役に立つ．

本章では，主に BtoB のモノづくり企業を対象とした新たな顧客価値創造のためのビジネスモデルについて述べる．そのビジネスの対象領域は，従来のモノづくりの強みである優位性のある商品(モノ)はもとより，バリュ

ーチェーン下流のサービス・ソリューションまで拡大させている．特にバリューチェーン下流のサービス・ソリューションにおける顧客価値創造とは，顧客のビジネスの領域，顧客がビジネスを行う現場にまでモノづくり企業のビジネス領域を拡大することであるため，顧客視点の考え方や顧客との関係性が重要である．さらに，それを実現するためには従来の自前技術とは異なる分野においても新たな技術確立が必須であり，その獲得のためにも従来とは異なる取り組みが必要となる．以下にコマツが行ってきた建設・鉱山機械の製造と販売のビジネスをビジネスモデルの観点から整理し，顧客のウォンツや課題の発見と新たな技術確立の事例について考察する．

2.2. 建設機械における顧客価値創造のためのモノ・サービス・ソリューションモデル

コマツにおいては，バリューチェーンの中流から下流の商品(モノ)，サービス，ソリューションの各段階で顧客価値を創造するビジネスモデルを採用している(坂根，2011)．そのビジネスモデルをTable 2-1に示す．ビジネス領域拡大の進行に伴って，第0領域から第2領域までに分けられる．第0領域は機能特化型商品であり，顧客価値を高めるための特長に関して特化して競争力を高めた商品を意味している．第 1 領域はサービスである．サービスは，ハードである機能特化型商品に，ハード使用時のサポート機能を持つソフトを組み合わせたものと考えている．サポート機能とは，例えば使用時に有用な情報を提供するものである．第 2 領域はソリューションである．ハード＋ソフトにさらに顧客の課題の具体的な解決策を提供するものである．

Table 2-1　Business models, expanding business fields to the downstream of value chain.

Area	Name	Composition	Customer Value
Zeroth Area	Specific-function-featured Products	Hardware	Specific-function-featured high value-added hardware
First Area	Service Business	Hardware + Software	Support during the use of the hardware (Provision of information etc.)
Second Area	Solution Business	Hardware + Software + Solutions	Offer of concrete solutions for problems

顧客のビジネス領域であるバリューチェーン下流のサービス・ソリューションに踏み込んだ取組みは，建設・鉱山機械メーカの中ではコマツが最初である．BtoB の業態である建設・鉱山機械メーカにとっては，ICT による客観的かつ広範囲なデータを基にして，顧客とそのビジネスの課題を共有する関係に移行できたことが，顧客価値を創造する点で非常に有効であったと考えられる．

第 1 領域のサービスでは，顧客機械に対して稼動率や生産性を高める活動が主体である．一方で，第 2 領域のソリューションでは，メーカが顧客と同一の目線で解決策を考え，機械にとどまらず顧客のビジネスのやり方を変更するシステムの提案をすることになる．　二つのモデルにはこのようにビジネス領域拡大の進行度に違いがある．なお，第 1 領域のサービス，第 2 領域のソリューションのどちらも，第 0 領域の優位性の高いハード(機能特化型商品)とセットで提供するからこそ，優れた顧客価値を提供することができる．製造業におけるサービス化，ソリューション化のビジネスモデルのアイデアは以前からあったが，ICT の進歩によって技術的な環境が整ったことで一気に加速し実現に至ることができた．

第 0 領域の機能特化型商品は，製造業にとっての基本となるものである．モノづくりの強みを活かして顧客

のウォンツに対応した機能に特化した競争力の高い商品と位置づけている. 機能特化型商品においては, 顧客価値を高めるための特長に関して競合他社が長期に亘って追いつけない商品でなくてはならないことを特に定めている. それを実現するために, 経営戦略によって「負けてもよい機能」を認める工夫をしている. 従来は, 競合する商品に対して全ての機能で同等以上であることが暗黙的に求められており, 結果として平均的で特長を見出しにくい商品が生み出されやすかった. しかし, 犠牲にしてよい機能を定めて選択と集中を進め, 顧客価値の高い機能に集中して開発資源を投資することで, 特長のある商品を生み出すことが可能となっている. このように生み出した特長的な商品(モノ)をベースとすることで, さらに顧客のビジネスの現場にまで領域を広げる第 1 領域のサービス, 第 2 領域のソリューションのビジネスモデルが優位に実現するのである.

サービス工学(下村他, 2005)においては, サービスは受け手であるレシーバが望む状態変化を引き起こすことと定義している. 本論文ではサービス工学におけるサービスの概念を, さらに状態変化の進行度によって二つに分けて考えた. ここでは, 状態変化は顧客(＝レシーバ)の課題を解決することである. サービスはレシーバの役に立つ情報等を与えるが, その課題を直接解決はしないため, 比較的進行度の低い段階と定義できる. これは前述の第 1 領域にあたり, ソフトを組み合わせることで顧客に有益な情報を提供する. 顧客はその情報を用いて自らの課題を解決する. 2.3.で述べるテレマティクスサービスがこれに相当する. 一方, ソリューションはサービスからさらに踏み込んで課題解決策まで提供するため, 状態変化の進行度が高いものと定義する. これは第 2 領域に相当し, 情報に基づき顧客が抱える課題に対する具体的な解決策までメーカ側が提供する. 2.4.の無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムがその一例である.

生産財である建設・鉱山機械は, 必要な機能を維持したまま止まらない高信頼性が顧客のビジネスにとって重要である. 建設・鉱山機械は, 工作機械等のような据え置き型の生産財と違って移動する機械であるため, 顧客にとっても実態を把握しにくく管理が難しい側面がある. また, 建設・鉱山機械は, 顧客に渡った後の運用コストの方が車両価格よりも大きいという特徴を有する. このようなことから, バリューチェーンの下流である顧客のビジネスの現場において新たな顧客価値を生み出す意義が特に大きい分野と捉えることができる. コマツはその点にいち早く着目し, 建設・鉱山機械においてバリューチェーンの下流のサービス, ソリューション領域での ICT を活用したビジネスモデルを新たに構築して実現したことになる.

次節から, Table 2-1 のビジネス領域を拡大するためのビジネスモデルの二つの領域, サービス, ソリューションについてそれぞれ実証した結果を示す. その際に重要となるのは顧客の顕在化していなかったウォンツや課題の発見とそれを実現させるための新規技術確立である.

2.3. サービス領域でのビジネスモデル(第 1 領域)

第 1 領域のサービスは, Table 2-1 に示すようにハード(商品)にソフトを組み合わせることで顧客をサポートする仕組みである. 顧客のウォンツを実現するために, 主に有益な情報の提供によるサポートを行う. それによって機械の稼動率や生産性を高め, 顧客に従来価値軸の延長上でさらに大きな便益を提供する. そのためには商品を見える化する仕組みを整えるのが有効である. 見える化をすることによって, 第 0 領域である機能特化型商品の優れた機能をより活かすことができるようになって, 商品(モノ)の付加価値を高めることが可能になる.

その実現のための代表的手段はテレマティクスサービスである. コマツは KOMTRAX と呼ぶテレマティクスサービスで, 世界中で稼働する建設機械(以下, 建機)から自動で情報を収集し, 遠隔での車両監視・管理・分析を行っている. 本サービスは当初, 建機の盗難防止のための位置および稼動状態管理と万が一の際の

エンジン停止機能等を主な目的として提供したものであった．だが，本サービスが稼動し，これまで得られなかった膨大な建機の稼動データが入手可能になって，顧客のそれまで見えていなかったウォンツや課題が見えるようになり，サービスが拡大進化することとなった．

例えば，以下のようなことである．KOMTRAXで得られる建機稼動データからは，稼動の有無だけではなく，建機の実際の使われ方を把握することができる．使われ方を詳細に解析することで，それに即した顧客が本質的に必要とする建機の使い方，すなわちウォンツが見える化できる．建機稼動の詳細なデータからは，作業内容やオペレータによる操作，機械への負荷情報等が明確になるため，それらのデータの集合体を解析することで，機械として強化すべき箇所や顧客が必要とする機械仕様といった新たなウォンツを発見することができる．また，使われ方の中でオペレータの熟練を必要とする難しい作業を抽出することで，オペレータの負担軽減や使い勝手向上をサポートするというウォンツも見出せる．例えば，本章で後述するように，鉱山用ダンプトラックの KOMTRAX では，データの収集・分析によって燃費の良い運転，悪い運転と走行コース上の位置の関係を見える化することで，運転操作方法や走行コース設計の改善に関する潜在的かつ本質的な要求(＝ウォンツ)を明らかにしている．

このように KOMTRAX から得られたデータを分析・活用して新たなウォンツを見出すこと等を通じて，顧客，代理店，メーカ三者いずれも Table 2-2 に示すような多くの便益を得ることができるようになった．顧客にとっては，所有する機械の稼働率向上や，機械の運用コストを含めたライフサイクルコスト全体の見える化と低減である．代理店にとっては，アフターサービス適期の把握や，建機を販売する際のファイナンスリスクの低減である．そしてメーカにとっても，需要予測・生産計画，品質解析，商品開発・市場導入タイミング見極めがデータに基づいて実現できるようになってきた．

Table 2-2　Benefits from KOMTRAX.

Players	Benefits
Customers	Minimize machine downtime Lowering machine life cycle cost Efficient administration of jobs
Distributors	Just in time parts delivery Lowering financial risks Monitoring after service timing
Manufacturer	Demand forecasting / Production planning Machine quality analysis Product development and market introduction planning

これらの便益は KOMTRAX 導入以前から想定していたものばかりではなく，本サービスによる新たなウォンツの発見が実現させたものも多い．本サービスの特長は，顧客にとっての価値創造をすることのみならず，メーカや代理店に対しても多くの価値を創造するものであった点である．特に，KOMTRAX の導入によって，メーカや代理店が，建機の使われ方の客観的な情報を通じて顧客と密接に繋がったことが大きい．それによって顧客自身にも見えていなかった本質的に必要なこと(＝ウォンツ)を発見し，その活用による顧客価値創造の新たな取り組みを行えるようになった．潜在的であったウォンツを顕在化させて，それを実現するための取り組みを顧客とメーカ・代理店が一緒になって実施できるようになったことが，このビジネスモデルが提供する最大

の顧客価値と言える.

Fig.2-3 に KOMTRAX サービスの模式図を示す. KOMTRAX では, 建機に搭載されたセンサ等の情報と GPS で得られる位置情報を, 衛星通信または携帯電話通信を使って離れたコンピュータシステムに送っている. 本サービスを実現するためには, GPS 技術および衛星通信もしくは携帯電話通信等の通信インフラ, 各種センサ技術の発達普及がキーであった. これらの建機適用については以前から社内で研究開発を行っており, 1990 年代後半の社会情勢(建機盗難問題の顕在化)に応じて, 建機で初めてのテレマティクスサービスとして導入した. KOMTRAX は 2001 年からコマツにおいて販売した建機に標準搭載されており, 現在では配車台数の多くに搭載されている.

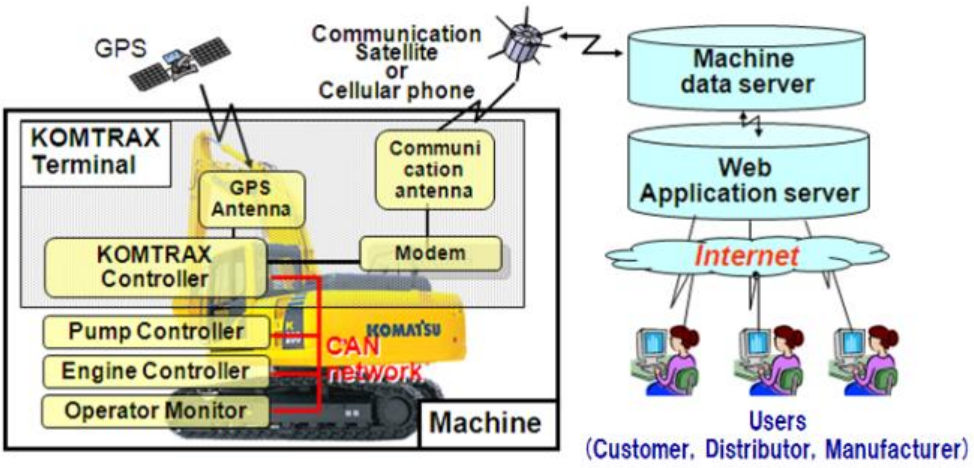

Fig.2-3 KOMTRAX service schematics.

この KOMTRAX によって, 建機の稼働場所や稼働状況などをメーカが把握することが可能になった. 本技術は, 機械と機械を繋ぐ Machine-to-Machine (M2M)や, 機械がインターネットを通じて繋がっている Internet of Things (IoT)と呼ばれる概念の具体例の一つである(野村総研, 2013). テレマティクスサービスは産業・工作機械や自動車等の世界でも導入が進んでいる(田村, 2011, 森田, 小原, 2011, 山内, 2014). しかし, 産業・工作機械は元々が設置式で動かないため従来から顧客による管理がある程度可能であり, テレマティクスサービスを利用してもメーカが顧客の現場に入ることには限界がある. そのため, テレマティクスサービスによって産業・工作機械の顧客とメーカを繋いだことには意義があるが, 比較的クローズな関係性である. 一方で建機は移動するという特徴を持ち顧客による管理も困難であるため, テレマティクスサービスがもたらすメリットが顧客にとっても大きく, 導入がスムーズに進んだ. その結果, 現場と顧客とメーカ・代理店が有機的に結ばれ, 大きな効果が現れた.

KOMTRAX が浸透・拡大したもう一つの要因として, 市場へのサービス導入時に, 経営戦略によって全ての建機に標準搭載されることになったことが挙げられる. 標準搭載による普及拡大の結果, 入手可能になった情報は膨大かつ広範囲であり, その有益な情報を基に顧客への新たなサービスの提案が可能となり, 活用範囲拡大に繋がった.

Fig.2-4 に KOMTRAX から得られるデータの一例を示す. この画面に示す建機の稼働位置, サービスメータ値以外にも, コーション発生記録, 燃料使用量, オイル・フィルタ交換記録等数多くのデータを取得できる. 日々収集され蓄積される KOMTRAX データを分析すると, 多くの有益な情報が得られる. 例えば Fig.2-5 に示

すように国や地域別に稼働時間を比較すると使われ方がどのように違うかがわかる．先進国に比べて新興国は稼働時間が倍前後となり，それぞれの特徴に応じた提案ができる．また，Fig.2-6 に示すように国により日々の稼働時間の推移が異なる．土日に稼働する国，しない国，また各国の文化による休日などの差も実際のデータとして見て取れる．

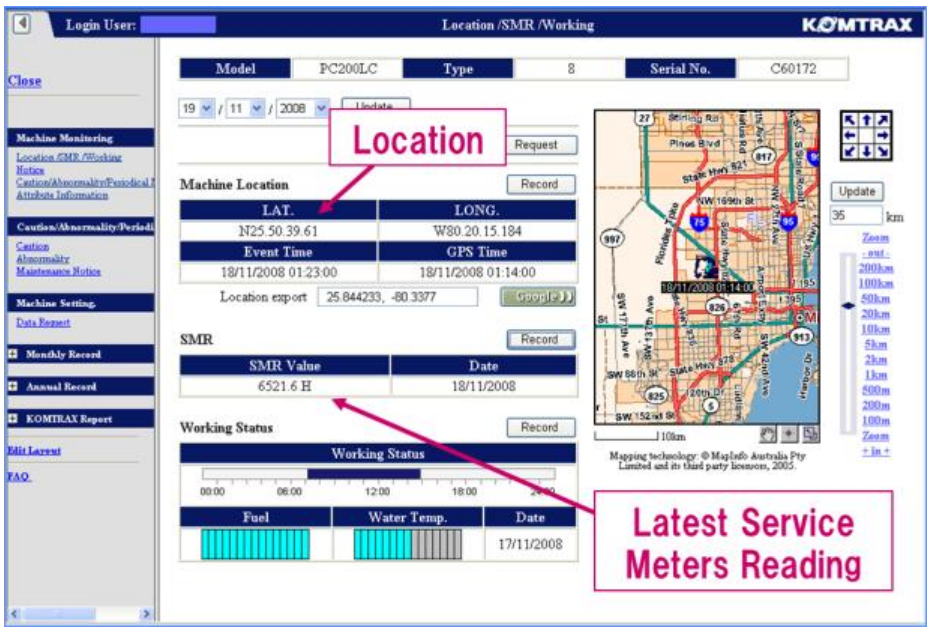

Fig.2-4　Example of KOMTRAX data.

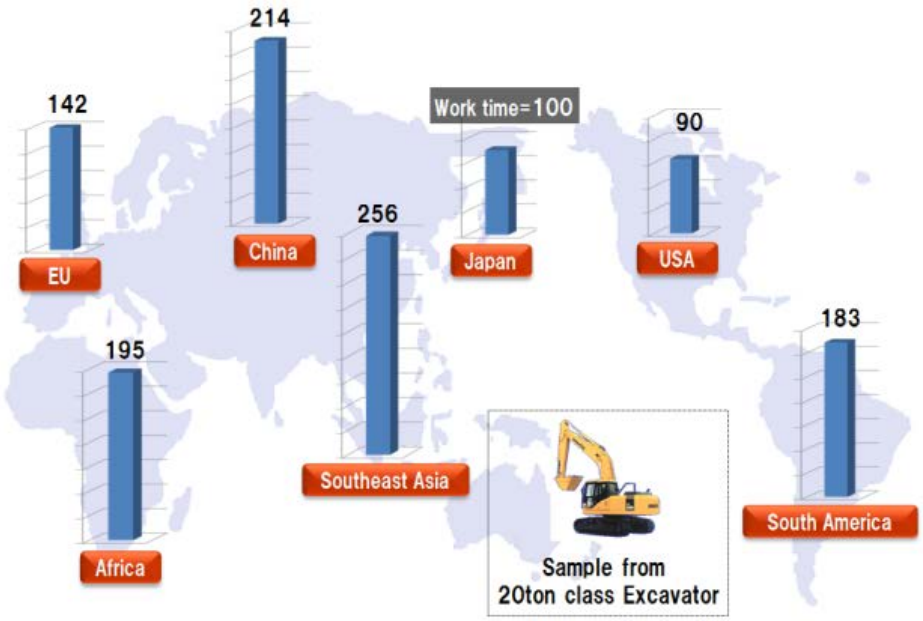

Fig.2-5　Monthly work time comparison between countries. (Japan as 100)

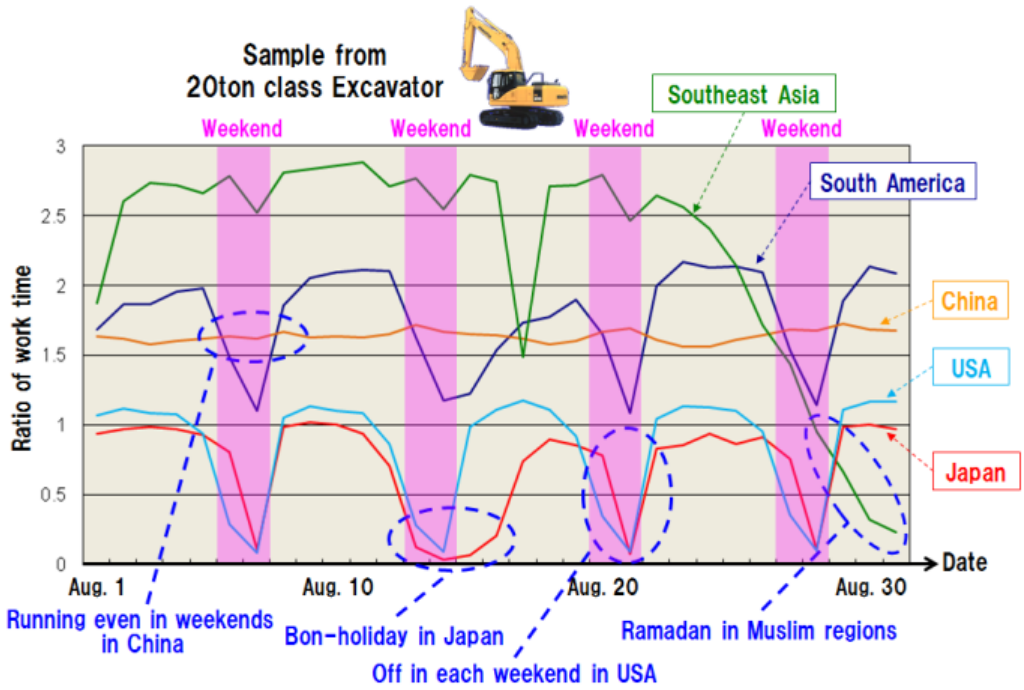

Fig.2-6　Comparison of daily changes of work time between countries.

以上の例ではKOMTRAXから比較的容易にウォンツを引き出せるものであったが，データの詳細な解析で得られるウォンツの事例を以下に述べる．鉱山機械の KOMTRAX においては，一般建機よりも詳細なデータの収集・分析・活用を行っている．例えば鉱山で鉱石等を運搬する超大型ダンプトラックでは，燃費悪化の原因となる急激な加減速を抑えることが求められており，車速や走行位置，燃費等の現場の詳細データを，燃費解析(Fig.2-7)や速度超過解析(Fig.2-8)に活用している．Fig.2-7 の燃費解析においては，燃費の良い運転と悪い運転に関して各詳細データを比較・解析して，燃費の悪い運転では減速によって燃費が悪化していることを明らかにするとともに減速が生じたコース上の位置を見える化し，ダンプトラックの運転操作方法や走行コース設計の改善に繋げている．Fig.2-8 の速度超過解析においては，ダンプトラックの速度超過情報とその発生場所，そのときのオペレータ情報を紐付けした解析を行っている．速度超過の多いオペレータを対象に，どこで何回速度超過が起こったかを見える化した情報を基に運転操作方法の改善指導を行うことが可能になり，安全性と燃費の向上，ブレーキ磨耗の低減の効果が期待できる．

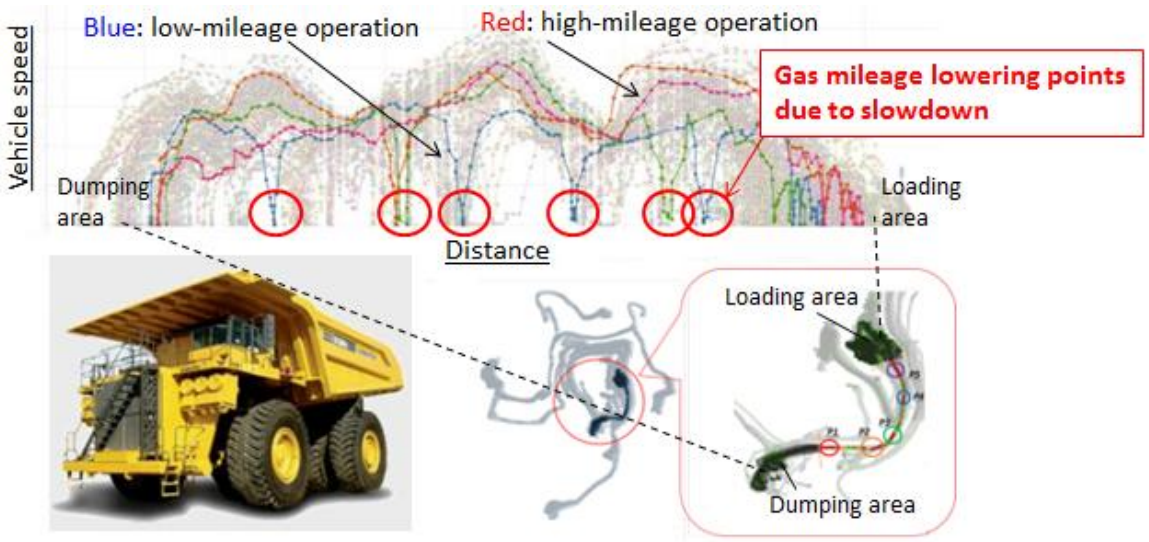

Fig.2-7　Fuel consumption analysis of mining dump trucks.

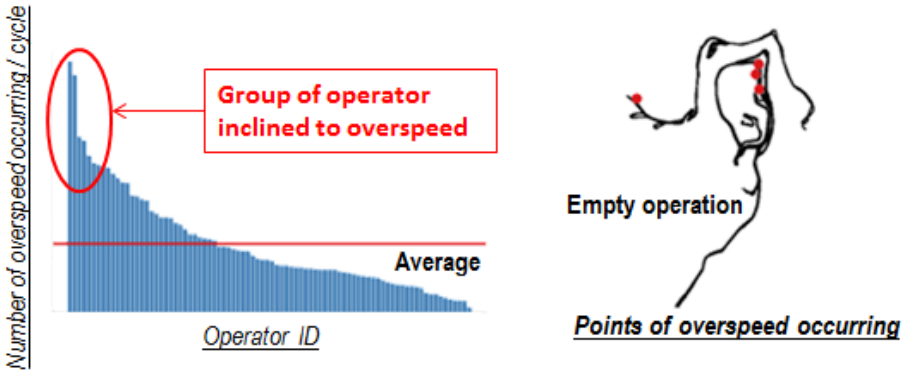

Fig.2-8　Overspeed analysis of mining dump trucks.

KOMTRAX を装備する以前は，メーカは顧客がどのように機械を使っているかをリアルタイムでは把握することができなかった．また，機械の所有者である顧客にとっても，移動型の機械は実態が把握しにくい側面があり，正確なデータを入手することは難しかった．以上に述べたように，このような使用状況に関する情報が入手可能になったことは商品の付加価値創出にとって極めて有用である．顧客による機械の使われ方が見えるようになったことで，それに応じて商品の優れた機能を最大限に活かすことも可能になった．機械の稼動状態に関する正確かつ網羅的な情報を得ることで，それまで気づけずにいたウォンツを発見して機械の機能を最大限引き出すためのスパイラルアップの取り組みにつなげられるようになった．その取り組みによって顧客の数多くのウォンツを実現し付加価値を提供できるようになったことが，本ビジネスモデルが提供する最大の顧客価値である．

KOMTRAX の実現にはそのキー技術となる GPS による位置情報，衛星もしくは携帯電話通信による通信技術，各種センサ技術のレベルアップが必要であった．これらの多くは社内に存在せずに社外から獲得しなくてはならない技術であったため，導入にあたっては産産連携によるオープンイノベーションを活用した．それらの技術の建機適用について社内で取り組み，システムとして完成させた．　競争力のある技術をタイムリーに開

発するためには，このようにオープンイノベーションによる外部からの技術獲得を積極的に行うことが有効である．

2.4. ソリューション領域でのビジネスモデル(第 2 領域)

ソリューションは，Table 2-1 に示すようにハード＋ソフトのサービスにさらに具体的な解決策を提供するものとしている．従来とは異なる新たな価値を顧客に提供し，顧客のビジネスそのもののやり方を変えていく．その一例として，コマツでは無人走行機能を加えた大規模鉱山用の超大型ダンプトラックとそれを鉱山の中で稼働させるための無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムを導入している．Fig.2-9 にそのシステムの概要と稼働状態の写真を示す．

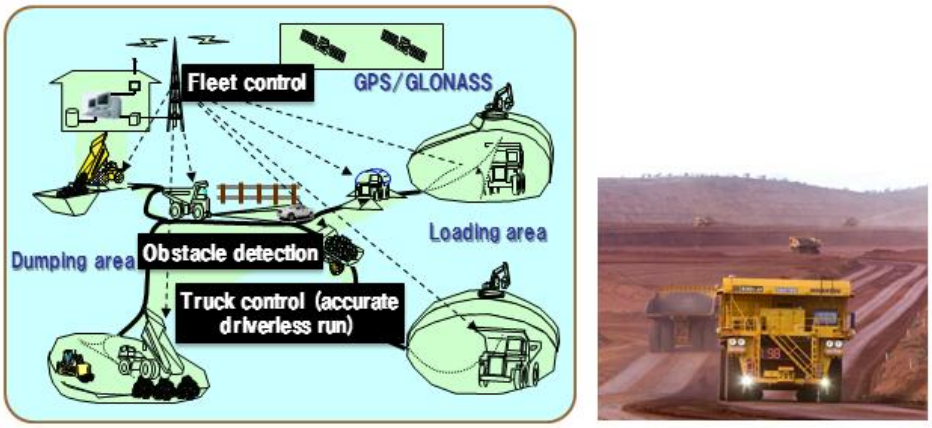

Fig.2-9　Autonomous haulage system. (Haulage by driverless trucks)

鉱山運営にとっては，安全性と生産性の向上が非常に重要な課題である．コマツは本ソリューションを実現するにあたって顧客との対話を行い，鉱山を安全および安定稼動させるというニーズからさらに進めて，鉱山オペレーションの一部の無人化というウォンツで有人に関わる事故を抑制して本ニーズの一部を満たせることを見出した．安全は鉱山で働く人を対象にした現場で最優先されるものであり，その安全が事故等によって損なわれることが，結果として長期間に亘る鉱山の稼動停止にも繋がることを考慮すると，現場をできるかぎり無人化したいというウォンツが生まれる．それを実際に構築したのが無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムである．

無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムは，機械の無人走行技術と，鉱山の中を無人で走行させるためのオペレーションの仕組みやソフトウェアなどの組み合わせで実現した．無人走行を実現した主な技術を Fig.2-10 に示す．このシステムでは無人・有人オペレーションが混在する機械全体をまとめてコントロールするフリート管制が必要であり，鉱山で稼働する全ての機械に GNSS(全地球航法衛星システム)を搭載して管理している．GNSS は，GPS(アメリカ)や GLONASS(ロシア)等の人工衛星を使って現在位置を正確に割り出すシステムの総称である．

Fig.2-10　New technologies for driverless trucks.

本ソリューションの実現にあたっては，長年社内で研究してきたダンプトラック単独の無人走行や制御技術が基になっている．しかしそれが実用化に至るには，位置制御や障害物検知等の精度，鉱山全体でのフリート管理システムに課題があり，社内技術だけでは達成できなかった．そこで社内で不足していた技術については，産産連携や産学連携によるオープンイノベーションを広く活用して社外から取り入れた．まず，軍用であった GPS および GLONASS の測位衛星の一般開放が大きな契機となった．そのタイミングで，課題となっていた位置制御や障害物検知等の精度，鉱山全体でのフリート管理に関わる各種ノウハウ(測位衛星に関わる技術と鉱山管理用の最適配車管理システム，鉱山内無線通信網等)を所有する会社を M&A することで，戦略的にそれらの技術を入手した．また，本ソリューションを構成するための光ファイバージャイロやミリ波レーダ等の各種高精度センサ技術はそのほとんどがベンチャーその他の欧米企業との協業によって取得したものである．また，無人走行用の走路設定にあたっては，国内大学との産学連携で走行を滑らかにするアルゴリズムを共同開発して実現した．これらの社外からの新規技術と従来から社内で行ってきたダンプトラックの無人走行・制御技術を集約し，社内の摺り合わせ技術によって組合せることによって，本ソリューションが実現に至ったのである．

基本的に 24 時間稼働し続ける鉱山では，有人の場合はダンプトラック 1 台に交代要員を含めて 4-6 人のオペレータが必要である．僻地にある鉱山での労働を希望するオペレータは少なく，高い人件費が必要で，そのためのインフラを新たに整備するのも大変なコスト要因である．そのため，無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムのコスト分を考慮しても，無人にする効果は大きい．また，過酷な現場環境であり，ダンプの運行は時に単調な繰り返しともなり，また夜間は照明も少ないため，有人の場合は眠気，不注意，未熟練等の原因で事故が発生することもあった．しかし，コンピュータによって全て管制されている無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムでは，ダンプトラックオペレータに起因する事故発生をなくすことができ，鉱山の安全性が著しく

向上する. オペレータを粉塵・騒音・振動から開放することによる安全性向上の効果もある.

鉱山管理システムによって, 鉱山現場の見える化・効率化が大幅に進展している. 有人車も含め全ての機械に GNSS が装着されているため, 現場の動きを全て把握することが可能である. また, 無人車では加減速が必要最小限になり, スピードを出し過ぎずに安定して走るため, メンテナンスコストが大幅に下がる. 急ブレーキ・急発進がなく, 走行路の取り方を滑らかに設定する手法も新たに導入しているため, 安定走行の結果としてタイヤ寿命を大幅に改善する効果もある. このダンプトラックにはタイヤが 6 本装着されているが, 超大型ダンプトラック用タイヤは非常に高価であり, タイヤ寿命向上は運用コストに大きく影響する. また, スムーズな運転は燃料消費を抑える効果があり, 燃費も大きく改善する. 加えて無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムによって実施される作業は有人に比べて正確かつ均等であるため, 積み込み作業や排土の整地等の一連の作業が効率化され, 安定した高い生産性が確保できる. 短時間での最大生産性は有人には及ばないものの, 有人ではそれを長時間維持することは不可能なため, 全体としての生産性が向上する. これらの効果によって, 顧客現場の生産性・計画性が向上する.

このように無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムを導入することによって顧客のコスト構造は大きく変化する. Fig.2-11 にその構成の概要図を示す. 有人車の場合, 顧客のコスト構造は, 車両本体価, オペレータ人件費, コンポーネント・部品修理およびメンテナンス費, タイヤ・燃料などの消耗品費に加え, 有人運用に関わるその他諸経費として, 労務管理, 福利厚生, 万が一の事故対応など目に見えにくく変動が激しい膨大なオペレーションコストが掛かっている. 無人車の場合, その中の車両本体価とオペレータ人件費に置き換わる車両本体価＋本システム運用コストは増加するものの, コンポーネント・部品の修理およびメンテナンス費, タイヤ・燃料などの消耗品費については安定走行確保のために減少し, 全体ではほぼ同等になる. ここまでのコスト構造は有人車と無人車でほぼ同額である. その上で, ダンプトラックの有人運用に関わるリスク管理を含むオペレーションコストが無人車では必要なくなる. 例えば, 鉱山現場でのキャンプ建設・維持費用(住居・電気・水道・食料等)も, 人数減少分だけキャンプサイズを小さくできるのでコスト低減になる. ストライキによる生産影響リスク, 採用コスト, 各種手当, 福利厚生, 労務管理, 将来の人件費上昇リスク等についても低減することができる. 鉱山では他に有人の機械もあればシステム運用のための人員も必要であるが, 鉱石等の運搬を担うダンプトラックは台数が多いため, 無人化による人員減少効果が高い. ダンプトラック有人オペレーションコストの実態や規模は明らかではないが, 顧客が無人化を推進する大きな動機となっているものであり, 鉱山の計画的な安定運用を阻害するコントロール不能な要因でもある. この膨大なコストを削減して安定運用を維持し鉱山の安全性も向上させることが, 大きな顧客価値に繋がっている.

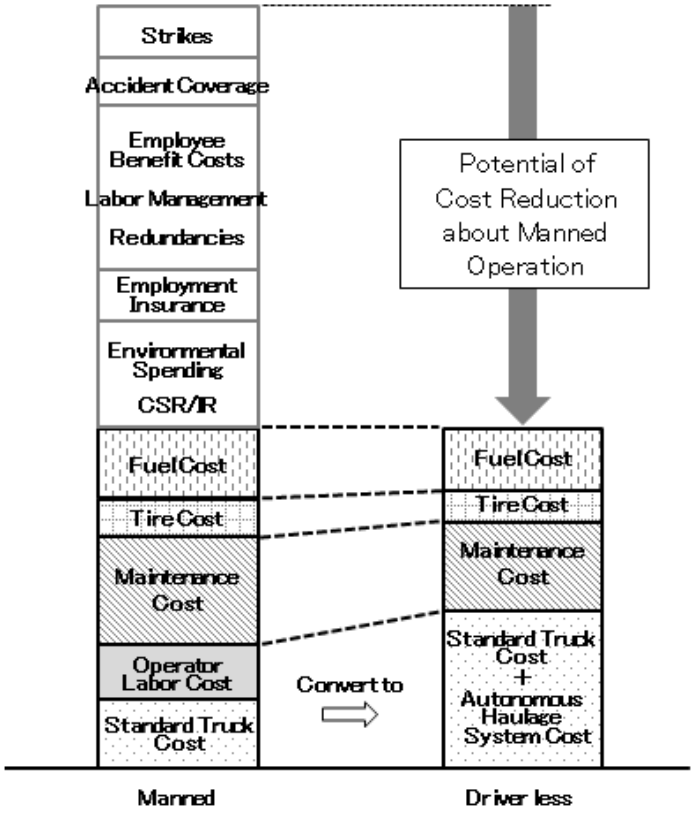

Fig.2-11　Life cycle cost composition schematics of mining dump truck compared between manned and driverless truck.

以上のように，鉱山の顧客の安全性向上と安定稼動というニーズから発展させて，オペレーションの一部無人化というウォンツを引き出し，オープンイノベーションを活用して社外から効率よく必要な新規技術を導入し，それを社内で組合せて無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムとして実現することができた．これは顧客に具体的なコスト構造の改善という解決策を提供するという顧客価値を創造する第 2 領域のソリューションモデルの成功例である．第 1 領域のサービスが従来価値軸の延長上で顧客に便益を提供するのに対し，第 2 領域のソリューションでは従来とは異なる新たな価値を顧客に提供できた．

本ソリューションによって，鉱山マネジメントに変化が起きている．顧客の鉱山運営に機械メーカがパートナーとして関わることとなるため，顧客との関係に変化が生じている．この関係深化によってさらに顧客の現場を知り，顧客の潜在的な欲求であるウォンツを顕在化するスパイラルアップが可能となった．

2.5. モノ・サービス・ソリューションビジネスによる顧客価値創造の戦略

前章までに，商品(モノ)を第 0 領域と定義して，その先にあるサービス，ソリューションの 2 領域の新しいビジネスモデルによって，モノづくり企業の強みを活かした商品(モノ)の優位性の上に，バリューチェーンの下流にあるサービス・ソリューションでも顧客価値を創造する取り組みについて論じた．Fig.2-12 に製造業が従来のビジネス領域を超えて顧客のビジネスの現場にまでビジネスの対象を拡大する様子を模式的に示す．機能を特化した付加価値の高い商品(モノ)を作ることが従来の製造業のビジネス領域であり，Fig.2-1 の横軸に示すバリューチェーンの中においても従来はその範囲まででビジネスが完結していた．Fig.2-12 の点線で囲んだバリ

ューチェーンの領域が，従来の製造業のビジネス領域である．しかし，Table 2-1 に示すように，本論文では商品を売り切りにはせずに顧客のビジネスの現場に入り商品を含んだサービスやソリューションにまでビジネスの領域を拡げることで，新たな顧客価値を創造するビジネスモデルを構築する提案をしている．ICT を活用することで，モノづくり企業のビジネスをサービス化・ソリューション化するのである．具体的には，第 1 領域として機能を特化した付加価値の高いハードにそれをサポートする機能を組み合わせた「サービス」(Fig.2-12 の右に示す第 1 領域)を提案した．可動式で管理が難しくこれまで実態の掴みにくかった建機の稼動状態を見える化し，その中からウォンツを見出して新たな顧客価値を創出する仕組みを可能にしたテレマティクスサービス，KOMTRAX の事例からそれを実証した．また第 2 領域として，ハード＋ソフトにさらに具体的な課題解決策を提供する「ソリューション」(Fig.2-12 の右に示す第 2 領域)を提案した．このモデルは，鉱山の安全性向上と顧客のコスト構造改善というソリューションを実現する鉱山用無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムという形で有効性を実証した．

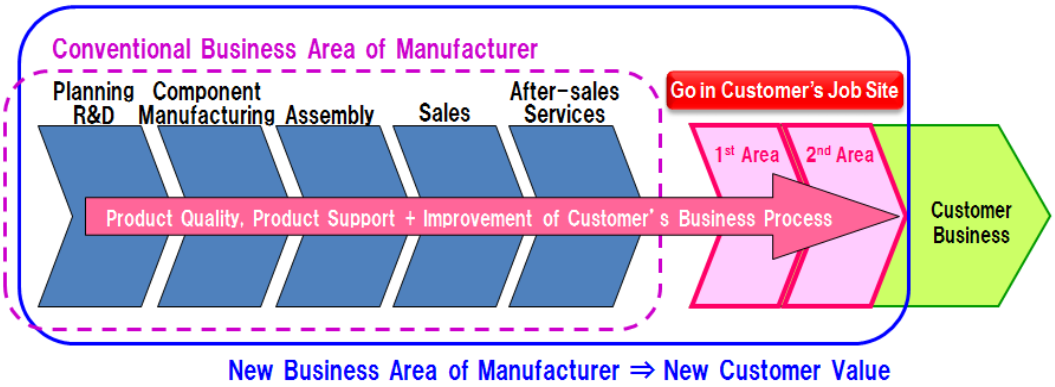

Fig.2-12　Use of ICT technology transforms manufacturer to service provider.

今後のモノづくり企業の在り方として，顧客が実際に商品(モノ)を使う現場にまでビジネスを浸透させて顧客価値を高める取り組みがますます企業活動の中で重要性を増していくと考えられる．その中で重要なのは，顧客がこれまで認識していなかったウォンツを顧客と共に発掘しそれを解決するイノベーションを提供していくことである．

今後そのような戦略でさらに総合的に顧客価値創造を進めていくために，Fig.2-1 のスマイルカーブを念頭に置いた次の 2 つのポイントが重要である．

①顧客自身も自覚していないウォンツや課題の発見，顕在化（バリューチェーンの下流）

②それを解決するための技術確立（バリューチェーンの上流）

上記のうち①については顧客との関係性が特に重要である．顧客との関係性を向上させることで，顧客をよりよく知ることができ，ウォンツや課題の発見，顕在化に繋がる．その具体的な方法の一つとして，コマツではブランドマネジメント活動を通じた顧客との関係性向上に努めている．その活動の主眼は，メーカが顧客にとってなくてはならない度合を増やして選ばれ続けるパートナーになることを目指して，顧客のビジネスにとっての理想状態をともに探っていくものである(加藤，2014)．このような活動を実施してきたことがこれまでの商品(モノ)・サービス・ソリューションモデルの構築に繋がっており，また今後のさらなる顧客価値創造のためにも重要かつ有効である．一般消費者を顧客とする BtoC のビジネスと異なり，建機を始めとする BtoB に分類される

ビジネスでは顧客は生産財として商品を活用している. その目的は BtoC と比較すれば明快に分析可能なものであり共有もしやすい. 顧客とメーカの協力関係を構築しその中で互いに理想状態を探っていく活動の効果は特に大きい分野と考えられる.

①の見えない課題発見のツールとしては, ICT やそこで得たビッグデータの解析も重要性を増している. テレマティクス技術等による膨大なデータ蓄積を活用・解析し, 顧客のウォンツや課題を顕在化することが, 顧客価値創造にとって有効である. KOMTRAX はそれ自体が顧客価値を提供すると同時に, 新たな課題発見の手段でもある. このような手段をブランドマネジメント活動の場の対話の材料としても活用することで, 次のステップの顧客価値創造へスパイラルアップしていくことが可能となる.

顕在化させたウォンツや課題を実際に形にしていくのが②であり, 明確な特長・強みを有する商品・サービス・ソリューションの実現と考えることができる. この実現にあたって, 競争力のある技術をタイムリーに開発するためには, 必ずしも自前主義にこだわらず, オープンイノベーションなどで, 社外にも広く技術を求めることが肝要である. 今後新たな顧客価値を追求していくためには, 自社内にない技術, 得意でない技術が必要になる場面が増加すると予想されるため, 産学連携, 産産連携等を通じて積極的に新規技術を獲得する体制を構築することが必要である.

その一方で, 競争力の源泉となるキー技術, キーコンポーネントは, 内製化するなど社内に取り込み, 日本のモノづくり企業が得意とする摺り合わせの強みを活かして差別化につなげていくことが有効である. 例えばコマツでは, 油圧機器, エンジン, パワートレイン, パワーエレクトロニクス等を競争力を左右する重要なコンポーネントと捉え, それらの内製化を他社と差別化する競争力の源泉としている. 摺り合わせ型のモノづくり企業においては, 競合が容易に追いつけない商品(モノ)と, それと密接に結び付けたサービスやソリューションで顧客価値を提供するビジネスモデルが有効である. KOMTRAX や無人ダンプトラック運行・鉱山管理システムのベースには, 摺り合わせの強みを活かしたモノづくり力や競争力の高いキーコンポーネントがある.

さらには, 最終的に実際の商品(モノ)・サービス・ソリューションを市場に提供するために, 外部から取得した新規技術と社内のキー技術を集約し実現するためのマネジメントや開発・生産の実力を蓄積することも重要となる.

2.6. 結言

本章では, 建設・鉱山機械という BtoB のモノづくり企業において, モノづくりの強みである競争力のある商品(モノ)をベースに, さらにバリューチェーンの下流であるサービス・ソリューションにも領域を拡げて顧客価値を創造するビジネスモデルの実例を通じて, イノベーションによる新しい価値創造について論じた. 以下にその論点をまとめる.

- モノづくり企業においては第 0 領域の機能特化型商品をベースに, 第 1 領域:サービス, 第 2 領域:ソリューションという 2 領域で顧客価値を創造するビジネスモデルが有効である. 本章ではコマツで実行されている事例に基づいて, その有効性を検証した.
- 上記のビジネスモデルの実現には①顧客の見えないウォンツや課題の発見, ②解決のための技術確立が重要ポイントであり, この観点で上記モデルを成功させた. その実現には①にはブランドマネジメントとビッグデータ活用, ②にはオープンイノベーションやキー技術による差別化が有効である.

顧客のビジネスの一部にメーカが関与するビジネスモデルが成立すると, そこからさらなる顧客価値創造の機会が生まれる好循環がその先に期待できる.

[参考文献]

天坂格郎，ニュージャパンモデル サイエンス TQM−戦略的品質経営の理論と実際，丸善出版，(2007).

加藤雄一郎，理想追求型 QC ストーリー―「未来の顧客価値」を起点にしたコンセプト主導型の新製品・サービス開発手法，日科技連出版社，(2014).

狩野紀昭，魅力的品質と当り前品質，品質，Vol.14，No.2 (1984) p.147.

木村達也，わが国の加工組立型製造業におけるスマイルカーブ化現象−検証と対応，富士通総研研究レポート，No.167 (2003).

木村達也，わが国の加工組立型製造業におけるスマイルカーブ化の再検証，富士通総研研究レポート，No.261 (2006).

Kotler, P. and Keller, K. L.，コトラー&ケラーのマーケティング・マネジメント 第 12 版，丸善出版，(2014).

森田亮一，小原潜，産業機械・工作機械業界における M2M 技術の活用，NEC 技報，Vol.64，No.4 (2011) p.53.

野村総合研究所，IT ロードマップ 2013 年版，東洋経済，(2013) p.100.

坂根正弘，ダントツ経営―コマツが目指す「日本国籍グローバル企業」，日本経済新聞出版社，(2011).

下村芳樹，原辰徳，渡辺健太郎，坂尾知彦，新井民夫，冨山哲男，サービス工学の提案（第 1 報， サービス工学のためのサービスのモデル化技法），日本機械学会論文集 C 編，Vol.71，No.702 (2005) p.669.

田村和也，テレマティクスの現状と将来動向，自動車技術，Vol.65，No.2 (2011) p.10.

山内康彦，製造業における保守業務改革への取組み～「守りの保守」から「攻めの保守」へ～，FUJITSU，Vol.65，No.5 (2014) p.29.

第 3 章　建設・鉱山機械におけるライフサイクルコスト低減方策による顧客価値創造

3.1. 緒言

建設・鉱山機械という摺り合わせ型のモノづくり企業であるコマツでは，商品(モノ)をベースに，バリューチェーンの下流であるサービス，ソリューションを付加して顧客価値を高める方針で事業が進められてきた．建設・鉱山機械のような生産財においては，顧客が支出したコストに対してどれだけの便益を得られるかが顧客価値につながる．顧客がその生産財に対して支払うコスト，すなわち保有のために必要なライフサイクルコスト(以下，LCC)の低減が，顧客価値を高める上で重要な要素である．

LCC を低減するためには，LCC の構成要素を定量的に把握した上で，適切な対策を取ることが必要である．しかしながら LCC の構成要素の中には定量的に把握できない不確実な要素が多く含まれており，そのことが LCC の低減，ひいては顧客価値の創造を阻む要因となっている．本章では，建設・鉱山機械の LCC の中に存在する不確実な要素を減らして，より定量的に把握できるようにするための考え方を提示する．さらにその考え方を，建設機械のテレマティクスサービスおよび鉱山におけるダンプトラック無人運行システムという新しい手法と組み合わせて，LCC 中の不確実要素を減らして LCC 低減する方策を提案し，その効果について論ずる．

3.2. LCC 低減における課題と解決策

建設・鉱山機械は生産財であるため，「利益を生む機械」であることが顧客価値に直結する．前節で述べたようにコストに対する便益が顧客価値であると定義すると，機械のライフサイクル全体にかかるコスト，すなわち LCC を考慮した上で利益を生み出す仕組みを整えることが必要である．

一般に，大学等における研究やメーカの社会的責任(CSR)の観点で評価されている LCC やライフサイクルアセスメント(LCA)という概念は，持続可能社会実現という視点の分析がメインである(梅田他，2001，梅田他，2003)．その主目的は，商品を提供するメーカの持続可能性実現への取組みの効果や責任を明確にすることであり，その重要性からコマツにおいても CSR の観点からの取組みが行われている(コマツ，2013)．

一方，本章で注目するのは顧客自らが建設・鉱山機械を使用する上で負担する LCC である．このような観点からは，トータルのライフサイクルで顧客自身が負担するコストのみを対象とすることで，顧客価値が評価できる．この目的から，本章では LCC を「顧客が負担する LCC」の意味で用いる．

LCC を積み上げると，商品自体の取得コストがそのライフサイクル全体で必要なコストの一部に過ぎず，顧客が商品を利用する期間に負担する運用コストが LCC において支配的であることが多い．典型的な例では，顧客の長期保有・管理が前提である建築物や構造物である．このような業種では，設計時に性能，安全性，経済性等のバランスを考えて LCC を合理的に最小化して仕様を決定する手法が進んでいる(国交省，建築保全センター，2005)．

Fig.3-1 に建設・鉱山機械の LCC の全体構成の一例を示す．機械の本体価に相当するイニシャルコストに加えて，保守費，燃料費，オペレータ人件費，その他の機械を運用するためのコストが加算される．さらに，最終的に中古車として下取りに出す場合は，下取り価がマイナスされる．この全体が LCC であり，一般に建設・鉱山機械ではイニシャルコストよりもそれ以外の運用コストの方が大きな値となる．LCC の低減には，その多くを占める運用コストを下げることと，顧客が使用を終える際の中古車の下取り価を上げることが有効な手段である．

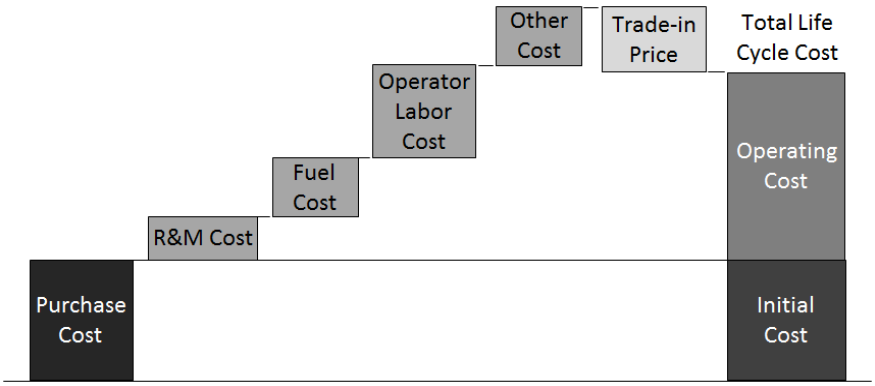

Fig.3-1　Life cycle cost composition of construction and mining equipment. R&M means repair and maintenance.

LCCを低減する対策を立てるためには，その前提としてLCCを定量的に把握することが必要である．しかしながらLCCの中には不確実要素が含まれているため，LCCの把握において大きな問題となる．具体的には，実際の使われ方や劣化・偶発的事故のリスク要因等が容易に予測できないため，LCC が正確に算出できないということである．そのための様々な予測手法がこれまでにも提案されている．過去の類似した事例のデータから回帰して求める手法(Ahmed，1995)や，データベースを整備して精度を上げる手法(国交省，建築保全センター，2005)，確率を考慮したシミュレーション(中島，2005)などの先行研究がある．

回帰計算(Ahmed，1995)やデータベース(国交省，建築保全センター，2005)から求める手法は過去のデータを活用して現実に近づける取り組みとして有効である．ただし前提とした条件によって結果が左右されるため，その正確さを高めることでより精度が上がる．また，確率を考慮したシミュレーション(中島，2005)は，主に事故，天災等の偶発的事象の影響を平均化して合理的に予測できる手法である．しかし，このような偶発的事象は発生するかしないかが個別の LCC に大きく影響することから，本質的に解決するためには可能な限り偶発性を除去できることが望ましい．

LCC の中の不確実要素の影響を可能な限り減らして，より正確にかつ適時に評価できるようにすることが，適切なLCC 低減対策を立てて顧客価値を生み出すための重要課題である．LCC の各構成要素を不確実性という観点で分類すると，Fig.3-2 のようになる．

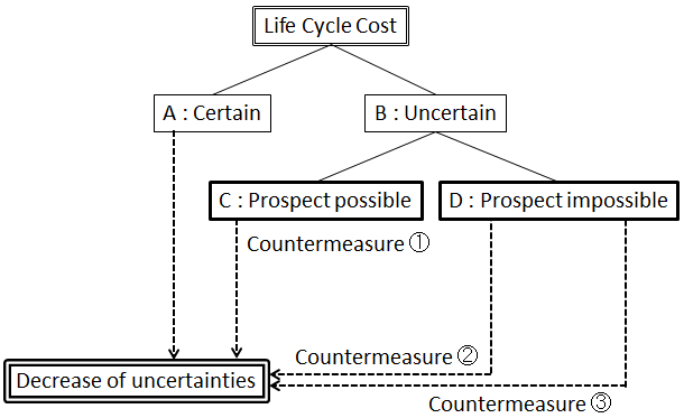

Fig.3-2　Classification of problems in life cycle cost estimation.

まず, LCC は A:確定要素と B:不確定要素に分けられる. 確定要素は最初から明確にわかっているもの, 例えばイニシャルコストに相当する本体価である. 不確定要素は詳細をすぐには算出することができないものである. これはさらに C:データに基づいた予測が有効なものと D:予測が困難なものに分けることができる. データに基づいた予測が有効なものは, 具体的な手段を使って計測したデータを用いて傾向を見ることで将来的なコストをある程度の確度を持って見積もることができる. ただし使用環境や運転条件によって違いがあるので, 機械や現場ごとにデータを計測し把握することが必要である. 建設機械(建機)の例では, 燃料費やオペレータ人件費, 点検・調整費に相当する. 一方, 予測が困難なものは, 偶発的な要素が絡むことなどによりデータの傾向から将来を単純に予測することが困難なものや, そもそもデータを用いた見積もりが不可能なものなどである. 劣化による故障や, 完全に偶発的な外的要因によって生じる天災や事故等が相当する.

以上から, LCC に含まれる不確実要素は Fig.3-2 の太枠で示した C:データに基づいた予測が有効なもの, D:予測が困難なものの二つに分類できることがわかる. 本章ではこの二つの要素について, その性質に応じた解決策を提示する. C は稼動データの定量的計測による使われ方の見える化(方策①), D は状態監視保全する対策(方策②)と根本原因の除去(方策③)の二つである. これらの対策を取ることで, LCC に含まれる不確実要素を低減することができ, 適切な LCC 改善策を講ずることが可能となる. 次の 3.3 でまず方策①と②に関してテレマティクスサービスを用いて行った対策事例の詳細を述べる. また, 3.4 では方策③の事例について述べる. 方策③については普遍的な解は見出せていないが, この考え方を実証するための取り組みの一例を紹介する.

3.3. 計測による見える化および状態監視保全による不確実性低減と LCC 改善

3.3.1 稼動データ計測による使われ方の見える化

ここでは, LCC の中に含まれる不確実要素を, テレマティクスサービスによる稼動データの定量的計測で低減する方策(Fig.3-2 の方策①)について述べる. 稼動データを計測することによって使われ方を見える化すれば, 将来に亘ってある程度の確度でコストを見積もることができ, 結果として LCC の精度を高めることができる. ここでは, LCC の中で機械を使用する際に単純に積算されていくものを対象としている. 手段としてテレマティクスサービスを例に取り上げるが, このシステムに限らず稼働状況をモニタリングできるものであれば同様の考え方で活用できる.

Fig.2-3 に, 稼働中の建機から自動で機械稼動状態をモニタリングするテレマティクスサービスの一つであるコマツの KOMTRAX(土井下, 2011)の概要を示している. KOMTRAX は, 建機に搭載されたセンサ等の情報と GPS で得られる位置情報を, 衛星通信または携帯電話通信を使って離れたコンピュータシステムに送るシステムである. コマツは, このシステムを建機では初めてとなる 2001 年から標準搭載し, 現在では配車台数の多くに搭載している. このシステムにより, 世界中で稼動している建機一台一台の稼動情報データを収集することができる. このようにして集めたデータを使うことで, 使われ方が見える化され, Fig.3-2 の C の不確実要素(観測が有効なもの)が予測可能となる. 不確実性が減ることにより, LCC の効果的な改善方法を検討することができ, 顧客価値につなげることができる.

Fig.3-3 にこのシステムを用いて定量化した, ある先進国 A と新興国 B の顧客が購入してから使い終わるまでの LCC の構成例を示す. テレマティクスサービスで取得したデータを活用して, それぞれ平均的な総稼働

時間(顧客が使用を終えるまでの平均時間)まで使用した場合の LCC を見積もったもので，新車の本体価を 100 として示してある．テレマティクスサービスを用いることで初めて建機の LCC について定量的に評価が可能となった．二つの国で本体価に幾分差異はあるが，各運用コストの傾向を読み取るのに影響があるレベルではない．なお，Fig.3-1 の中のその他コストは機械本体以外から発生するものであり，本システムでは対象外になるため，ここでは算出していない．

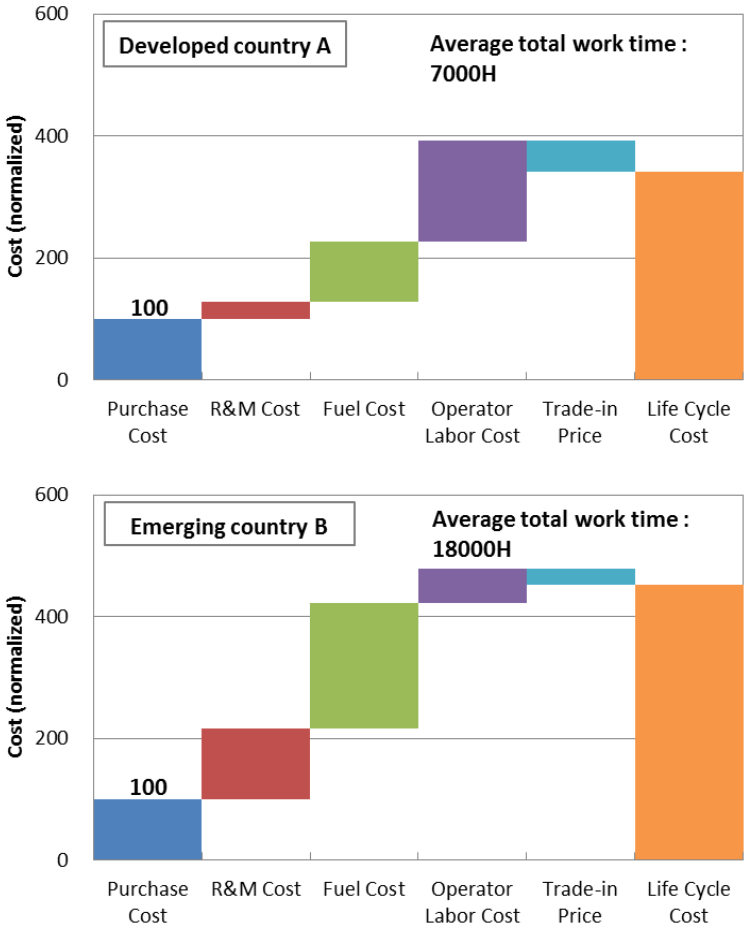

Fig.3-3　Life cycle cost examples in two countries. R&M means repair and maintenance.

先進国Ａと新興国Ｂでは総稼働時間が大きく異なり，新興国Ｂは先進国Ａの約 2.6 倍である．この違いは，必ずしも使用年数が長いことによるものだけではなく，一日あたりの稼働時間が長い，もしくは一年間の稼動日数が多いことにも大きな原因がある．総稼働時間が長いことに伴って，新興国 B では第一に燃料費，次に保守費の負担が大きくなっている．

先進国ＡのLCCでは，総稼働時間が短いにも関わらず人件費単価が高いため，オペレータ人件費の比率が一番大きい．新興国 B は総稼働時間が長いが，オペレータ人件費単価は先進国に比べて著しく安価であるため，総稼働時間の割に負担は大きくならない．一方，燃料費単価は人件費単価ほど先進国と差がないため，結果として燃料費の比率が一番大きい．また長時間稼動によって保守費の負担が増える．このように，テレマティクスサービスを用いることで，これまで実態を知ることが難しかった各コストを定量的に把握することができるようになり，トータルの LCC の見積や予測のレベルが格段に進歩した．それによって，例えば各地域に

おいてその特徴に基づいた効果的なLCC低減の対策を取ることが可能となる． 3.3.3で具体的なLCC低減の事例を紹介する．

3.3.2 不確実要素の状態監視保全による低減

LCC 中の不確実要素を減らすための二つめの解決策は，Fig.3-2 の D を状態監視保全状態にすることである(Fig.3-2 の方策②)．この不確実要素は偶発性，ばらつき，不透明性等により，観測結果から将来を予測することが困難なものである．そのため前節で述べた Fig.3-2 の方策①のデータ計測による見える化を採用してもなお，不確実性を低減することができない．ここではそのような予測困難性のために顧客にとって不明瞭で見通しが立ちにくかった不確実要素を，状態を監視しそれを保全することで顧客が許容できるばらつきの範囲で予測可能にするための取り組みについて述べる．この不確実要素に相当するのは，例えば建機においては，Fig.3-1 に示す LCC 構成の中の保守費の一部である修理費である．Fig.3-3 ではこれらのコストも各国の使い方に応じた平均値で見積もっているが，不確実性が多いため個別の機械によってばらつきが大きく，顧客が自らの所有する機械の将来予測として用いるには精度が低く参考にしづらい．燃料費や人件費のように比較的単純に積みあがっていくコストとは異なる点である．方策②は，まず方策①と同様の見える化を行いつつ，それを利用して将来のばらつき低減のための保全対策を講じるという二つのステップで実施する．偶発的な要素が多く，見える化のみから将来の傾向を導くことができないためである．

例えば，保守費に関しては状態を監視することで点検・調整を効果的に行ってその発生を最小限に抑えることができる．保守費は点検・調整費と修理費に分けられるが，点検・調整費は予定内の費用，修理費は予定外の費用といえる．点検や定期部品交換等の予定内の点検・調整をテレマティクスサービスで機械の状態を監視しつつ計画的に合理的な範囲で実施することで，予定外の故障による修理を最低限に抑え保守費を顧客が許容できるばらつきの範囲に置くことができるようになる．テレマティクスサービスを用いることで，適切な点検・調整時期を通知するサービスはもちろん，機械の異常を深刻な状態になる前に感知して負担の少ない段階で対策することもできる．また，保守サービス契約を結ぶことで，保守費を計画的かつ合理的に一定額に抑えることもできるようになっている．さらに，保守サービス契約によって管理された機械であれば，先に述べた下取り価についてもメーカが保証をするサービスに発展させられる可能性もある．

このように，従来は顧客にとって不明瞭で見通しが立ちにくかった LCC の中の不確実要素に関しても，状態を監視保全してばらつきを抑えることによって顧客にとって有用なレベルの予測が可能になる．次の 3.3.3 では，3.3.1 および 3.3.2 で説明したテレマティクスサービスを用いた方策①②によるLCC低減について具体的な事例を説明する．

3.3.3 計測による見える化およびばらつき低減によるLCC改善事例

以上に述べた二つの解決策，すなわち建機のテレマティクスサービスを用いた稼動データ計測による使われ方の見える化(方策①)と状態を監視保全する対策(方策②)により，LCC に含まれる不確実要素を減らしてその見積の精度を上げることができる．これによって，LCC を低減し顧客価値を生み出すための適切な対策を講ずることが可能となる．ここでは見える化したデータを基に運用コストを予測してLCCを低減しようとする取り組みの事例を述べる．以下はいずれも先進国 A における事例である．

3.3.3.1 省エネ運転支援による燃料費低減

一つめの事例は運転方法の支援による省エネ運転の実現である. これは方策①で見える化した要素に対するLCC 低減対策である. 稼動データ計測によって個々の機械における使われ方が明らかになるので, その機械に最も適した燃費低減対策が立てられる. ここで実施する対策は方策②の状態監視保全による不確実要素の低減とは意味合いが異なる. 方策②では見える化しただけでは傾向が把握できず将来予測が立てられないものについて状態監視保全を行うことで許容範囲内のばらつきに抑えている. 一方の方策①は見える化した段階で将来予測は可能である. それに加えてコストを低減するための取組みをすることでどの程度効果が見込めるかも予測できる. そのメリットも見える化することで顧客に動機付けを行って LCC 低減効果を高めているのがここで取り上げる省エネ運転支援による燃料費低減である.

具体的には, テレマティクスサービスから取得した実際のデータに基づいて, 顧客の機械のある期間の運転内容を解析し, 運転内容についての問題点の指摘と改善点の提案を行う. 代表的な改善提案ポイントとしては, 不必要なエンジンのアイドリング(仕事をしていない)時間の低減や, 作業内容に応じた運転モードの選定(たとえば負荷の低めな作業では燃料消費量を抑えるモードの設定をする)等である.

Fig.3-4 に運転内容の改善前と改善後とで, 時間あたりの平均燃料消費量と実働比率を比較した例を示す. 数値は改善前の値を 100 として規格化してある. 改善案に従って省エネ運転を行うことによって, 燃料消費量が約1割減少している. 実働比率とは, 実働時間(レバー・ペダル操作時間)と稼働時間(エンジン ON 時間)の比であり, 大きいほど無駄なアイドリング時間が減っていることを意味する. 時間当たりの燃料消費量は無駄なアイドリング時間が増えても減少するが, Fig.3-4 では同時に実働比率が上がっているので, 真の省エネ運転に改善されていることがわかる. このように, 機械の稼動データを計測して使われ方を見える化することにより, 適切な省エネ運転対策を顧客に提案できる. テレマティクスサービスで対策前後のデータを示し具体的な効果を見える化することがインセンティブとなり, 燃費低減効果が高まる. LCC を構成する要素の一つである燃料費を下げることができ, 顧客価値に結びつけることが可能となる.

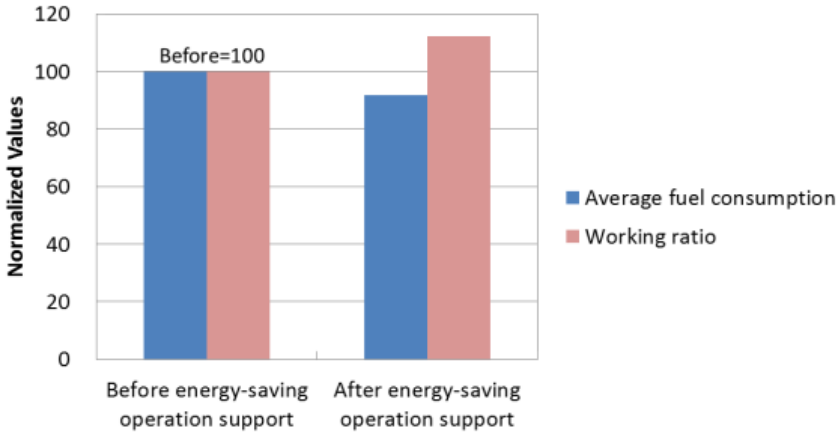

Fig.3-4 Comparison example of fuel consumptions before and after energy- saving operation support by KOMTRAX for one month of the same equipment.
Average fuel consumption: fuel consumption per unit work hour
Working ratio: lever or pedal on time / engine running time

3.3.3.2 履歴情報提供による下取り価評価の透明性向上

二つめの事例は中古車の下取り価をアップする取組みである. この事例も方策①で見える化した要素に対するLCC 低減対策である.

一般の工事現場等で用いられる建機は汎用性の高い機械であるため, 中古車市場が発達しており, LCCの中で下取り価も重要である. 中古車は一般に現物の査定を基に下取り価が決定される. 稼動状態がわからないと, 買い手がリスクを避けるために真の価値よりも低く評価される可能性がある. 下取り価を向上させるには, 機械の残存価値を客観的に見える形で示すことが必要である. テレマティクスサービスを用いて見える化を行い正確な稼動履歴を開示すると, その機械の履歴が全てわかるため, 買い手にとってのリスクが少なくなり, 正当な価格で評価され, 評価のばらつきによる不確実性も小さくなる. なお, 下取り価は中古車市場の市況によっても左右されるため, 完全にばらつきを抑えることはできない. しかし, 機械自体の残存価値に関する限りは下取り価のばらつきを最小にすることができる. 顧客はどの時点で下取りに出せばどの程度の評価額になるか最小のばらつきの範囲で把握して, 計画的に機械の購入・運用・売却を行えるようになる.

Fig.3-5 はあるオークションにおいて下取りに出された 20 トンクラスの油圧ショベルの平均下取り価を, KOMTRAX で収集した稼動履歴つきと履歴なしで比較した例である. いずれも 1 年間に取引された価格の平均値である. 履歴つきと履歴なしとでは平均稼働時間が異なっているので, データを補正して同一稼働時間で比較している. 稼動履歴を提供することにより, この事例では平均下取り価が約 7%向上している. これまで稼動状態が買い手にわからず低めに評価される傾向があったが, 稼動情報提供により買い手の合理的判断がなされるようになったため, 下取り価が正当に評価されるようになった結果である.

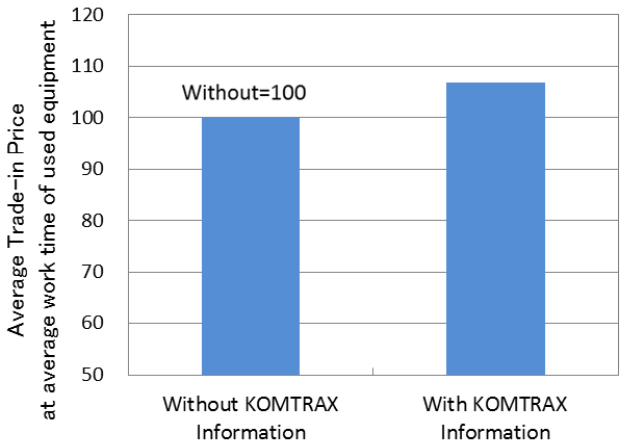

Fig.3-5 Comparison example of trade-in prices at average work time with and without operating information from KOMTRAX. Average trade-in prices were corrected per average work time. All data were obtained from the same type of equipment which was sold at a certain auction site for one year. (40 units with and 25 units without KOMTRAX information)

市場において評価される商品(ハード)の残存価値(＝下取り価)はFig.3-6 に示すように時間の経過によって下がっていくが, ソフトによるサービスを組み合わせることで, その下げ幅を抑えることができる. 建機(ハード)とテレマティクス(ソフト)に関する例では, 稼動履歴情報提供というサービスを組み合わせることによって残存価値が高められている. さらに, それまでの稼動状態が全て判明しているものとしていないものでは, その後の点検・調整の計画にも大きな違いが出てくるため, この点もソフト的な価値として付加される.

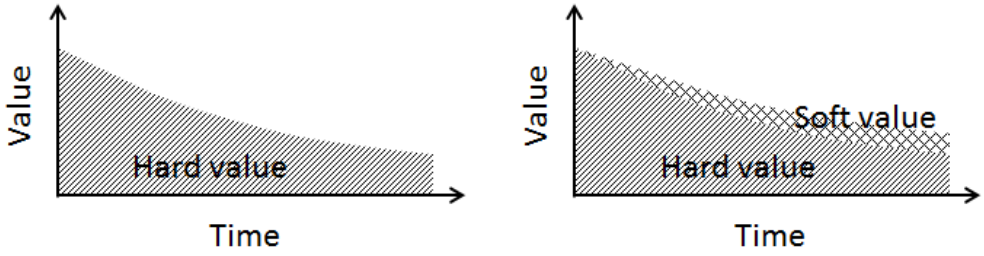

Fig.3-6　Residual value increase by combination of hard and soft value.

自動車においても，その履歴情報を活用したサービスが欧米を中心に行われている(佐川，2012，国交省，2014)．テレマティクスサービスを利用したものではないが，中古車の購入者に対して車両登録情報を基に車両のオーナー数，事故・整備履歴，走行距離等の履歴情報を有料で提供するサービスが米国で実施されている．中古車の買い手は安心して車を購入でき，また売り手にとっても売却価格が適正に高く設定できる等双方にメリットがあり，中古車流通市場の活性化にも寄与している．ここで示した建機の例のようにテレマティクスサービスによる稼動情報を利用すれば，さらに正確かつ合理的に中古車価格を設定できるようになると考えられる．

3.3.3.3 適切な点検・調整による保守費低減

三つめの事例は，稼動データに基づいて適切な点検・調整を行うことによる保守費低減の取り組みである．この事例は方策②によって状態監視保全でばらつきとともに LCC 自体も低減する対策である．テレマティクスサービスで機械の状態を監視し，適時に適切な点検・調整を計画的に行うことで，故障の発生を減らし修理費を抑えることができる．保守費は点検・調整費と修理費に分けられるが，点検・調整費用が増えても，修理費と合わせた保守費全体では減らすことができる．

Fig.3-7 は点検・調整の状態が「適切」「不適切」と判断される 2 台のケースについて，時間あたりの保守費を比較したグラフである．グラフでは「適切」ケースの値を 100 として規格化して比較している．

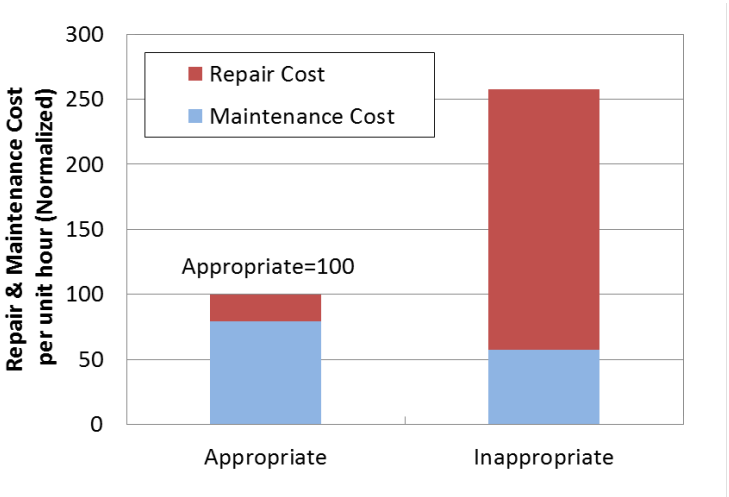

Fig.3-7　Comparison example of repair and maintenance costs resulting from appropriate and inappropriate maintenance excluding repair and maintenance by customers.

「適切」は KOMTRAX によって得られた稼動データから推奨される適切な点検・調整を実施したケースである．一方，「不適切」はそのような適切な点検・調整を怠ったケースである．「適切」ケースは「不適切」ケースに比べて点検・調整費が多めにかけられている代わりに，修理費が大幅に減っている．その結果，保守費合計では「不適切」ケースに比べて約 6 割低減できている．

この保守費の発生状況について詳細を見るために，Fig.3-8 に 1000 時間ごとの保守費発生状況を示した．「不適切」ケースでは多額の修理費が突発的に発生している．これは顧客にとっては非常に不確実な要素であり，顧客が LCC を把握しようとする際に大きな障害となる．これに対し「適切」ケースでは修理費の発生が少なく，保守費全体でも「不適切」ケースに比べると安定的に発生している．顧客が計画的に実施できる点検・調整費が大部分を占めているため，保守費の把握や管理が容易となる．

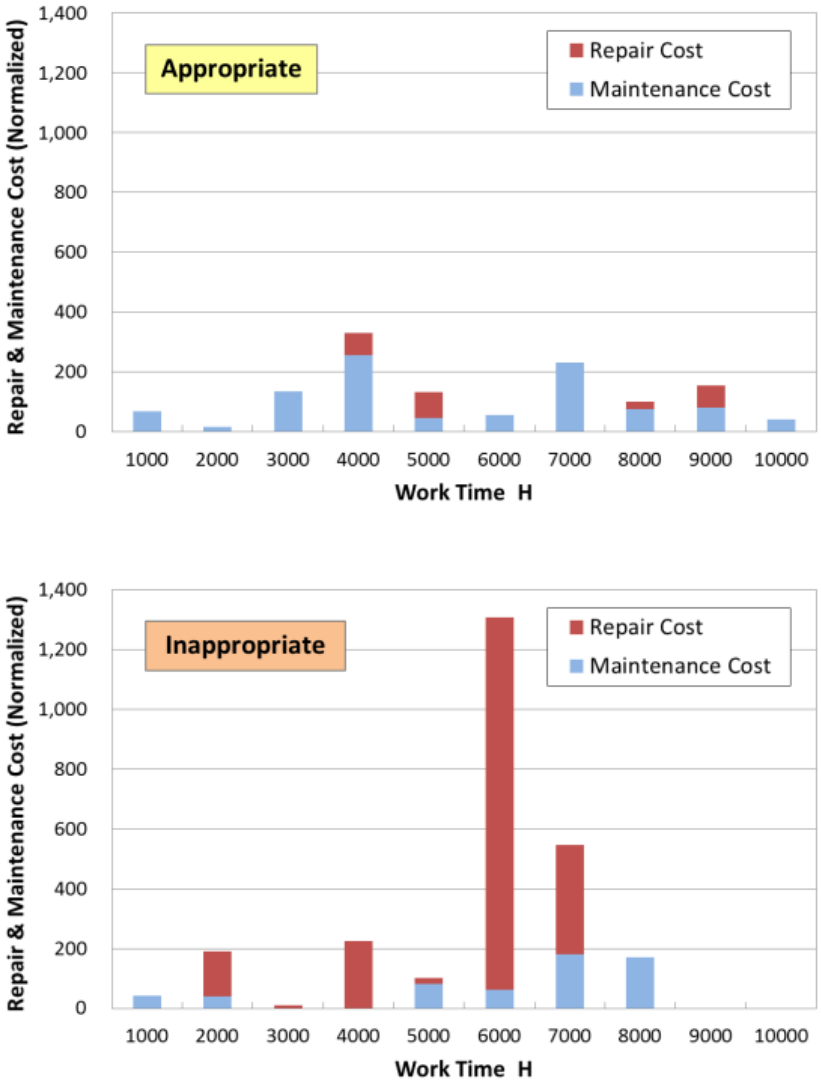

Fig.3-8　Breakdown and time record examples of repair and maintenance cost. (Average maintenance cost in appropriate case as 100)

このように，テレマティクスサービスを活用した稼動データ計測に基づき適時に適切な点検・調整を実施して予定外の費用を発生させないようにすることで，それまで不確実要素であった保守費を許容できるばらつきの範囲内に置くことができるようになる．テレマティクスサービスを用いることで，容易に点検・調整履歴および計画が把握できる他に，万が一の異常発生時に軽微な段階で感知・対応できるため効果が高い．

3.3.4 LCC シミュレーションによる低減効果の評価

これまでに示した事例を基に，テレマティクスサービス活用によるLCC 低減効果のシミュレーションを行ってみた．ここで説明する事例はいずれも，Fig.3-2 における不確実要素 C および D についてシミュレーションしたものである．テレマティクスサービスによって基となるデータの正確性やリアルタイム性が向上したため，これまでよりも予測精度を高めることが可能になった．

LCC は，Fig.3-1 等で述べてきたように式(1)の形で記述することができる．

$$LCC = NP + MC + RC + FC + OC + OTC - TP \tag{1}$$

ここで，LCC：ライフサイクルコスト，NP：本体価，MC：点検・調整費，RC：修理費，FC：燃料費，OC：オペレータ人件費，OTC：その他コスト，TP：下取り価である．保守費は MC(点検・調整費)と RC(修理費)に分けて考えた．ここではテレマティクスサービスの対象外であるその他コスト以外の予測を行う．イニシャルコストである NP(本体価)以外は時間関数と考えられる．MC(点検・調整費)，FC(燃料費)，OC(オペレータ人件費)は時間 t に比例して増加していくものとした．TP(下取り価)は，t=0（未使用時点）では本体価に等しいとし，式(2)の指数関数で定義した．

$$TP = NPa^{-\frac{t}{t_0}} \tag{2}$$

ここで定数 a はある時刻t0 における中古車価格を TP0 として，次のように表せる．

$$a = \frac{NP}{TP_0} \tag{3}$$

各コストの時間変化を表すと Fig.3-9 のようになる．RC(修理費)については，故障間隔がワイブル分布に従うと仮定し，モンテカルロ法で計算した．故障率は時間に比例して増加していくと仮定して，ワイブル係数は 2 とした．この場合，故障間隔は Fig.3-10 のような確率密度分布となる．

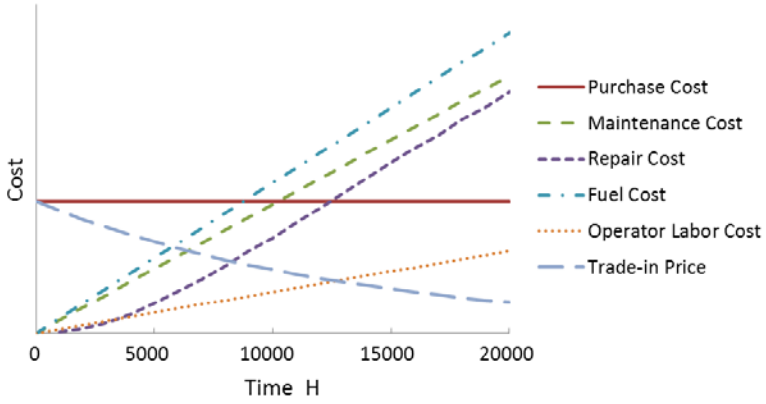

Fig.3-9　Time changes of each cost of life cycle cost by simulation.

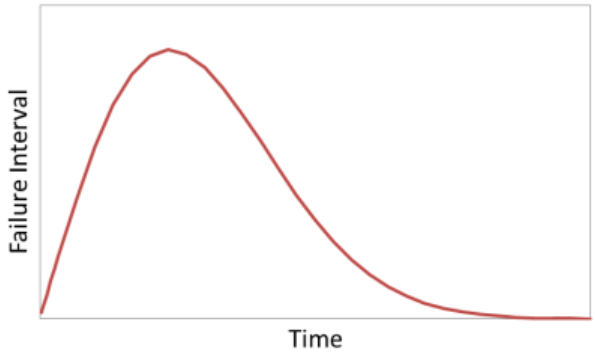

Fig.3-10　Density distribution probability of the failure interval used in the simulation with Weibull parameter as 2.

多数の車両を想定して，個々の車両について故障が発生する都度一定額の修理費を計上することとした．Fig.3-11 に，6 台の車両について修理費の発生状況を計算した一例を示している．今回のシミュレーションでは 3000 台の車両に対してこのような計算を行った後，全車両の計算結果を平均して時間と修理費 RC との関係を求めた．その一例も Fig.3-9 に示してある．

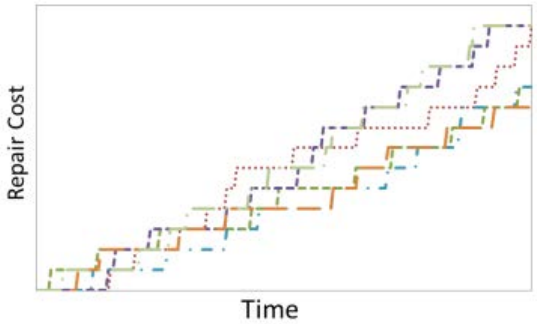

Fig.3-11　Example of simulations of repair cost accruing process by Monte Carlo method.

ライフサイクルシミュレーションの事例として，Fig.3-3 に示す先進国 A の LCC 構成を基にして，その時間変

化を計算した．結果をFig.3-12に示す．LCCの中の各コストについて，本体価を100として規格化した値を積み上げて示している．下取り価はマイナスされる値であるため，それ以外の積算値から差し引く形になる．Fig.3-3の先進国Aの総稼働時間7000HのLCCに相当する値を両矢印で示している．テレマティクス等を用いた稼動データ計測から求められるコストの実績値を用いてこのようなシミュレーションを行えば，将来のライフサイクル中に必要なコストの時間変化を見積もることができる．

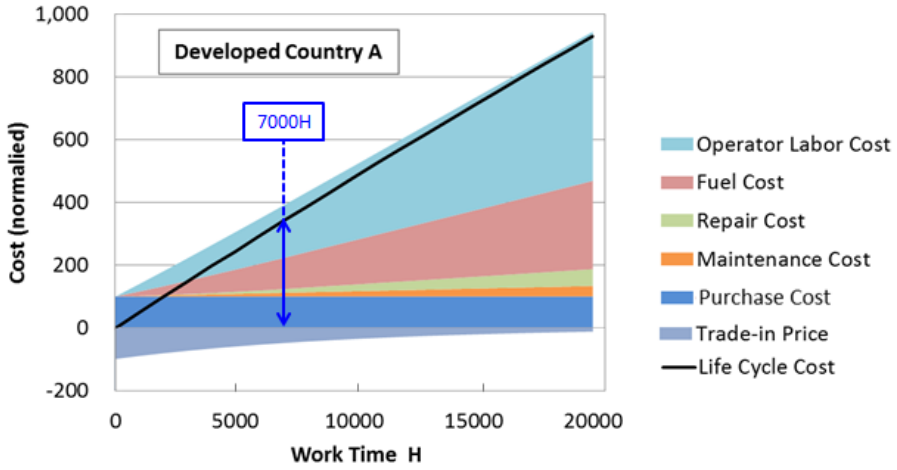

Fig.3-12　Example of simulation regarding time changes of life cycle cost composition.

Fig.3-12の基データはKOMTRAXを通じて得られたものであり，KOMTRAX活用によるLCC低減効果が含まれているものとみなすことができる．そこで比較のために，3.3.3.1～3の事例を基にこれらKOMTRAX活用によるLCC低減がないと仮定した場合についても計算してみた．KOMTRAX活用によるコスト低減効果がある場合(Fig.3-12の計算条件)に対して，KOMTRAXによるコスト低減がない場合の各コストやパラメータを，Table 3-1に示した倍率で設定した．修理費RCは，Fig.3-7,8を再現するにあたって1回あたりの修理費を固定としたため，平均故障間隔が0.15倍と非常に小さくなる想定となっている．

Table 3-1　Precondition of life cycle cost simulation both with and without KOMTRAX.

KOMTRAX effects	With	Without
Body Cost, NP	1	1
Maintenance Cost, MC	1	0.73
Fuel Cost, FC	1	1.1
Operator Labor Cost, OC	1	1
Trade-in Price, TP	1	0.9
Average Failure Interval	1	0.15

Fig.3-13に，KOMTRAX活用によるLCC低減がない場合のコストと，KOMTRAX活用効果がある場合のコスト(Fig.3-12と同じもの)を示した．3.3.1～3の事例の再現では，KOMTRAXを活用して保守費や燃費の低減，中古車価格の改善がなされることによって，LCCが15%前後改善されている．ここでは例示のため一回あたり

の修理費や平均故障間隔に簡略化した仮の数値を用いたが，一台一台の予測においてはテレマティクスサービスによる機種や地域等に応じたより正確な値を用いて，より精度の高いシミュレーションが可能である．

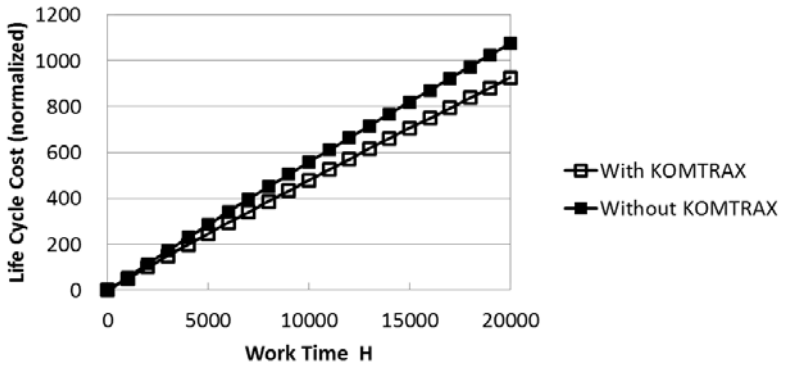

Fig.3-13　Examples of simulation regarding time change comparison of life cycle cost between units with and without KOMTRAX.

以上のように，テレマティクスサービスによるLCC改善の効果やその時間変化について，シミュレーションでより精度を上げて定量的に評価することができるようになった．

3.4. 不確実要素の原因除去とそれによるLCC低減

ここでは，これまでのような直接的にコストを扱うのとは異なる視点を取り上げる．LCC 中の不確実要素を減らすための三つめの解決策となる根本原因の除去(Fig.3-2 の方策③)である．偶発性が極めて高い不確実要素を根本から除去するという異なる観点からの対策である．そのような不確実要因としては，たとえば事故や安全にかかわるコストがあげられる．この要因は偶発性が高いためテレマティクスサービスを用いた見える化による方策①②では対処できない．これに関して普遍的な解は見出せていないが，不確実要素の根本原因除去という考え方を実践するための解の一例を紹介する．

Fig.3-14 の左に，大規模露天掘り鉱山で用いられる超大型ダンプトラックの LCC 構成を概念的に示した．ここでは，機械本体が必要とするコスト以外に，その機械の使用に付随して発生する鉱山運営のための様々なコストについても併せて LCC として評価している．テレマティクスサービスでは検討から外していた Fig.3-2 のその他コストの一部に相当するものである．一方，鉱山機械においては機械を寿命まで使い切ることが前提であるため，下取り価は考慮に入れていない．この左の棒グラフの中で，事故補償やストライキ対策費が偶発性の高く予測困難な不確実要素に相当する．

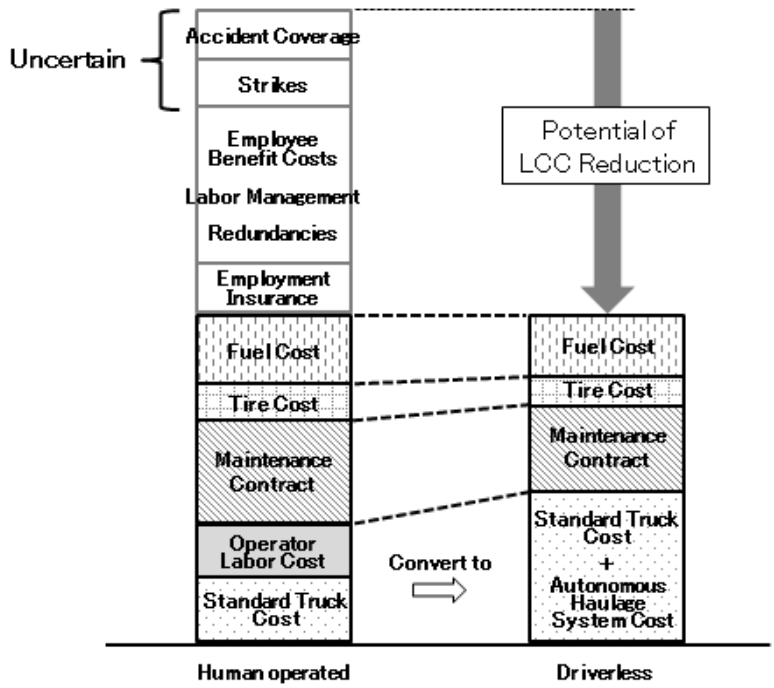

Fig.3-14　Life cycle cost composition schematics of mining dump trucks comparing both human-operated and not.

鉱山の運営において顧客の一番大きなニーズは，安全と LCC を抑えた上での安定稼動である．安全による人命優先は顧客の企業としての社会的使命であると同時に，鉱山の安定稼動，コストにも関わる．事故やストライキは，発生頻度こそ低いものの，ひとたび発生すると多大なコストがかかる．そのため高度に管理された鉱山の運営の中でも LCC を正確に把握するのを難しくする主要な原因となり，計画的な鉱山経営を目指す上での課題となっている．特に万が一の事故が起こった際には，鉱山の稼動が長期に亘って停止することにもつながり，鉱山運営にとって大きな負担となる．

鉱山における事故の実状については，北米の鉱山に関する米国労働省鉱山安全保健管理局(MSHA)のレポート(MSHA, 2016)でその一部を知ることができる．Table 3-2 は MSHA で報告のあるデータを基に北米の鉱山における 2008 年から 2012 年までの 5 年間のダンプトラックのオペレータに関わる休業災害以上の事故および死亡事故の件数をカウントして年平均を求めたものである．

Table 3-2　Number of accidents causing injury or death.

	Mining dump truck (North America)	Passenger vehicle (Japan)
Accidents accompanied by lost worktime and worse	141 cases per year	-
Fatal accidents included in above	3 cases per year	4113 cases per year
Fatal accidents per 1000 cars	1.27 cases per year	0.05 cases per year

Table 3-2 には比較のために日本における交通死亡事故のデータ(警察庁他, 2014)も示してある. 2014 年における日本の自動車保有台数 1000 台あたりの死亡事故件数は 0.05 件であるのに対し, 鉱山用ダンプトラックでは稼働台数 1000 台あたり 1.27 件となる. 鉱山用ダンプトラックは一般の自動車に比べて稼働率が高いこともあり, 約 25 倍の高い頻度で死亡事故が発生している. これに伴って補償費用や鉱山稼動の停止による損失が生じている状況が推定できる.

このような予測できない負担の大きな不確実要素については, それを根本から取り除くことが最も効果的な対策となる. それによってLCCの把握や低減を行うことが可能となる. 事故補償やストライキ対策費は, いずれも有人オペレーションであることに起因して生ずるコストである. したがってこれらの不確実要素を除去する最も効果的な手段は, オペレーションを無人化することである. 以下では, 超大型ダンプトラックの無人運行システム(Fig.2-9)を導入することにより, 不確実要素を除去して LCC を低減した事例について述べる.

ここで事例として取り上げる無人運行システムは, 高精度 GPS やミリ波レーダ等センサ類をダンプトラックに搭載することで, 複雑な鉱山の地形の中でも表土・鉱石を積載して完全無人で搬送することを可能にしている. 2005 年から一部の大規模鉱山において稼動を開始して, 採掘した鉱石等の運搬に用いられている(坂根, 2011).

無人ダンプトラック運行システムの導入でダンプトラックを無人化することによって, 予測できない不確実要素であるストライキ対策費や事故補償を, ダンプトラックオペレータに起因するものに関しては根本から除去することができる. これによって顧客は LCC に含まれる不確実性を減らすことができるばかりでなく, これらのコストそのものをなくすことができLCC 低減に直結する. 事故に関しては, 無人化することによってオペレータが事故にあうリスクをゼロにできるばかりでなく, 人為的ミスや疲労といった有人であることによって起きる様々な事故もなくすことができる.

さらには有人であることに起因する様々なダンプトラックの運用コストも同時に不要となる. Fig.3-14 の左の棒グラフの上半分に示してある, 従業員の福利厚生・労務管理, 雇用確保に関わる費用等である. これら鉱山を維持管理していくために必要なコストも, 無人化することによりダンプトラックオペレータに関する分はなくすことができ, LCC の低減につながる. もちろん鉱山には他に有人の機械もあればシステム運用のための人員も必要であるが, 鉱石等の運搬を担うダンプトラックは台数が多いため, そのオペレータに関するコストを削減できる効果は高い.

Fig.3-14 の右の棒グラフに示すように, 無人運行システムという新規技術の導入によって本体価はアップし, フリート管理を行うシステムの運用費も新たに発生する. しかしその一方で, オペレータ人件費は必要なくなり, コンピュータ自動制御による安定かつ適正な運行によって燃料費やタイヤ等の消耗品費を低減させることができるようになる.

以上に述べたように, 顧客が予測不能な偶発性の高い不確実要素については, それを根本から除去することが最も良い対策となる. 無人化によって不確実要素を根本から除去することにより, ダンプトラックに関する LCC 見積の精度が上がり, 同時に大幅な LCC 低減ももたらされる. 本事例では無人化という取り組みを行ったが, 対策はこれに限定されるものではない. いかに予測不能な不確実要素を除去するかという視点が重要である.

3.5. 結言

本章では, 建設・鉱山機械を対象として, 顧客の LCC を低減して顧客価値を高める手法について論じた.

建設・鉱山機械のような生産財においては，顧客が支出したコストに対してどれだけの便益を得られるかが顧客価値につながる．そのため LCC 低減が顧客価値を高める上で重要な要素となる．

LCC 低減のためには，その中身をライフサイクル全体で把握して適切な対応を取る必要があるが，建設・鉱山機械の LCC の構成要素の中には不確実要素が多く含まれており，その定量的な把握が困難である．このことが LCC を効果的に低減するための適切な対策を取る際の障害となっていた．

このような不確実要素に対する対応策として，不確実要素を

・データに基づいた予測が有効なもの（Fig.3-2 の C）

・データに基づいた予測が困難なもの（Fig.3-2 の D）

の 2 種類に分類し，それぞれの要素に対し，

・稼動データの定量的計測による使われ方の見える化(Fig.3-2 の方策①)

・状態監視保全する対策（Fig.3-2 の方策②）

・根本原因の除去（Fig.3-2 の方策③）

という対応策を取ることが有効であることを示した．これらの対策を取ることで，LCC に含まれる不確実要素を減らしてその見積精度を向上させることができ，適切な LCC 低減策を講ずることが可能となる．

本章では事例として紹介するにいたらなかったが，上記三つの対応策を同時に適用することで，LCC 低減をさらに推し進めることができる．たとえば最後に紹介したダンプトラックの無人運行システムの事例では，無人化による根本原因の除去についてのみ議論した．これにテレマティクスサービスを用いた稼動データの定量的計測による使われ方の見える化や，それに基づいて不確実要素を顧客が許容できる範囲のばらつきに抑える対策を加えれば，さらなる LCC 低減につなげることができる．

本章では建設・鉱山機械を例にとって不確実要素の低減について議論したが，この考え方はそれ以外の分野にも同様に展開できる可能性がある．顧客価値が LCC と明瞭に結びつくことが多い BtoB の分野では特に有効である．

本章で示した LCC 中の不確実要素に対する三つの対応策を採用することにより，LCC に含まれる不確実要素を減らすことができる．それによって，顧客による LCC の見積精度向上と適切な LCC 低減策の採用を可能として，顧客価値の創造に寄与することができる．

[参考文献]

N. Ahmed, A design and implementation model for life cycle cost management system, Information and Management, Vol.28 (1995) p.261.

米国労働省鉱山安全保健管理局(MSHA), Part 50 of the U.S. Code of Federal Regulations (30 CFR Part 50)

土井下健治，建設機械における ICT システムの活用－遠隔機械稼動管理システムの展開とデータ活用の推進，建設の施工企画，No.1 (2011) p.22.

警察庁による交通事故発生状況(2014 年)および自動車検査登録情報協会による全国の自動車保有台数(2014 年)より算出

http://www.msha.gov/STATS/PART50/p50y2k/p50y2k.htm

国土交通省，建築保全センター，平成 17 年版 建築物のライフサイクルコスト，経済調査会，(2005).

国土交通省，「自動車関連情報の利活用に関する将来ビジョン検討会」中間とりまとめ 2014 年 6 月

コマツ環境報告書
http://www.komatsu.co.jp/CompanyInfo/csr/environment/2013/index.html
中島洋行, ライフサイクル・コストの見積りと不確実性−モンテカルロ・シミュレーションの適用可能性, 経理知識, (2005).
佐川果奈英, テレマティクス自動車保険：イギリスにおける動向を中心として, 損保総研レポート, Vol.101, No.10 (2012) p.29.
坂根正弘, ダントツ経営―コマツが目指す「日本国籍グローバル企業」, 日本経済新聞出版社, (2011).
梅田靖, 堤田真矢, 冨山哲男, 田村徹也, 藤本淳, ライフサイクルシミュレーションを用いたサービス指向製品の実現可能性の検討, 設計工学, Vol.36, No.12 (2001) p.517.
梅田靖, 比地原邦彦, 大野雅史, 小川康暢, 小林英樹, 服部光郎, 増井慶次郎, 深野彰, 廃棄要因分析表を用いたライフサイクル戦略決定支援手法の提案. 精密工学会誌, Vol.69, No.9 (2003) p.1270.

第 4 章　大学の見える化技術を活用した産学連携の技術循環モデルとその実践

4.1. 緒言

産学連携の必要性・重要性が，企業・大学双方にとって高まってきている．

米国においては 1980 年代以降に多くの企業で中央研究所機能の縮小が見られた(Rosenbloom, 1998)．中央研究所を重視して一企業の中で研究開発活動の全てを実施していた自前主義の時代から，その一部を外部化することで効率化を目指す時代がやってきたものである．日本においても，米国に続いてバブル崩壊以降に同様な現象が見られており，研究開発活動の一部の外部化に対して，多くの企業が積極的な姿勢になっている．また，近年の IoT(Internet of Things)に代表されるように，製造業のサービス化，ICT 化が拡がりを見せており，自らの既存事業関連技術ではカバーできない多様な技術を必要とする状況が生じているのもこの動きを加速する要因になっている．全ての新規技術を自企業のみでまかなうことは実質的に不可能という認識が定着しつつあり，従来の自前主義から方針を転換して外部との協業を重視する企業が多くなっている．それらの実現手段の一つとして，産学連携を通じたイノベーションが注目されている(西村, 2003)．

コマツは 2000 年代初めにそれまで行ってきたエレクトロニクス等の新規事業への多角化を目指す方向から本業回帰へ経営方針を転換し，多角化の先行研究を主に担ってきた研究部門を，本業の建設・鉱山機械や鍛圧機械等の産業機械向けに特化して，開発により近い開発研究を担う組織とする改革を行った．その結果として，先行研究部門の研究開発成果が実用化する割合は増えたが，一方で社内のリソースが限られることから，将来技術のための基盤・先端研究を企業内で実施する，いわゆる中央研究所としての機能は相対的に縮小することとなった．

また，コマツは，従来，エンジン，油圧機器，パワートレイン，パワーエレクトロニクス等の主要コンポーネントを社内で開発・量産する自前主義を採って優位性のある商品(モノ)づくりを重視してきた．このキーコンポーネントに対する基本方針は引き続き維持するべきとしているが，一方で 2000 年代半ばからは ICT を活用したサービス・ソリューションビジネスが重要性を増して，必要な技術が多様化してきている．そのため，キーコンポーネント以外は自前主義にこだわらず外部から積極的に獲得する方針を新たに取り入れた．その方針の下，前章までに述べたように，優位性のある機能特化型商品をベースとして，バリューチェーンの下流のサービス・ソリューションにも領域を拡げ，ライフサイクルコストの低減に着目した顧客価値を創造するビジネスモデルをいち早く進めてきた．その実現には，オープンイノベーションの観点で，従来は企業内に保有していなかった新規技術を積極的に外部から取り入れて活用する協業が必要になってきた．

一方，大学において，機械製造業等の産業にとって重要な基盤技術分野の一部の研究活動が縮小していることが，基盤技術の革新や人材育成の面で大きな課題になっている．ここで言う基盤技術分野とは，製造業において根幹を担う素材・加工・要素等の技術のことを意味し，その中の一部に大学において存続が懸念されている分野が存在することが，産業界からも問題提起されている(日機連，2009)．産業を維持するために重要な基盤技術研究が大学で縮小していくことは，企業にとってはもちろん，大学にとっても，大学の優れた技術や人材を社会に役立てる使命の点から軽視できない問題である．この縮小傾向は，冶金・金属，溶接等の一部の伝統的な基盤技術分野の学科で顕著に見られる．これらの一部の伝統的な研究分野は，エレクトロニクスやナノテクノロジー，バイオテクノロジー等の新しい分野に比べて技術革新の成果が見えにくく予算の確保が難しいため，大学や公的機関においても研究や教育カリキュラムの縮小が続いている(日機連，2009)．しかしながら，産業界にとっては従来と変わらずに必要不可欠な基盤となる技術であり，人材の継続的な採用・

育成も必要である. 国の基盤研究に関する科学技術政策は時代によって変化もあり, 必ずしも基盤研究分野に必要な研究予算が継続的に確保できる保証はない. 基盤技術の研究や人材育成の存続には, 産業界として必要とする大学の該当分野の保護育成に自ら協力・関与する必要がある.

さらに, 2002 年度の科学技術基本計画(第 2 期)以降, 国は運営費交付金の額を漸減させており, 科学技術発展のための重点化を意図として競争的資金を強化している. 大学の研究者を対象にした主要な競争的資金である科研費の配分も, 国はテーマを絞り込んで重点配分する方向にあり, 大学としては国のみならず企業との産学連携等からも研究資金を積極的に獲得して研究を進める必要性が高まっている. 2004 年度の国立大学の法人化以降, さらにその傾向は強まっており, 大学の研究予算における国の競争的資金や産学連携等による外部資金の割合は現在まで増加の傾向にある(NISTEP, 2014).

以上の背景で企業においても大学においても産学連携への機運が高まったことから, コマツは, 2004 年度から複数の大学と包括連携を結ぶなど, 積極的に産学連携を活用したイノベーションを推進してきた. 企業と大学の組織的な産学連携を行うことで, テーマ設定, 実施において大学の連携責任者としてアサインされた教授がメンターとして積極的に関与すること, 産学双方のトップによる定期的なチェック体制が整うこと等がキーとなり, 研究成果が商品や製造プロセスに採用される成功確率が上がってきている.

その取組みの中で, 産学連携テーマとして特に大きな成果を出してきたのが大学の「科学」を活用した従来技術の見える化である. 従来の産学連携は, 大学の先端技術を企業に導入して実用化するという枠組みが一般的であったが, それに加えて, 企業がすでに事業ドメインとしている既存技術を「見える化・可視化」して現象を解明する枠組みが有効であることが実例を通じてわかってきた. その一部では, 大学における伝統的な基盤技術分野の研究者が, 大きな役割を果たしている. これまで企業がノウハウとして保持してきた技術が, 大学によって現象が見える化されることで, 体系化・理論化・一般化されて新たな科学が確立し, そこからまた新たな技術シーズが見出されるという効果も生まれている.

すでに確固とした事業ドメインを持っている企業においては, 産学連携の目的は, 新規事業の創出より, 既存事業における飛躍的なイノベーションであることが多い. その場合に効果的に機能するのは, 既存技術を出発点に原理の解明を軸としてイノベーションを行うマネジメント手法である. 本章では, 既存技術から原理を見出すことで飛躍的な既存事業のイノベーションを行う「技術循環モデル」を核とした産学連携の効果的な新たな枠組みとその実践について論ずる.

4.2. 産学連携とイノベーションプロセス

産学連携においては, 大学と企業が従来よりも積極的に双方のニーズ・シーズを共有して, いわゆる「現場」に関わり, 産業分野での実用化を目指したテーマを設定する必要があると著者は考える. 大学と企業は互いの特長を活かす領域でテーマを見出し, 連携することが求められている. 本章では, 大学と企業の特長に応じた役割分担について,「技術循環モデル」を軸に論じる.

新規技術を実用化するイノベーションプロセスについては, これまでに「リニアモデル」と「連鎖モデル」に大別されて議論されている(Kline, 1992). リニアモデルは, Fig.4-1 に示すようにイノベーションにおいて科学から技術, 工学, 製造が時系列で順番に発生するとしたモデルである. 出発点が科学にあり, フィードバックのプロセスは入っていないのが特徴である. リニアモデルのプロセスには, 様々な障壁が存在するとされており, 米国国立標準技術研究所(NIST)による死の谷, ダーウィンの海(吉野, 2003)や, 吉川らによる第 2 種基礎研究における悪夢(吉川, 内藤, 2003), 出川らによる魔の川(出川, 田辺, 2006)等の提案がある. Fig.4-2 に, 出川ら

によるこれらのモデルの時間軸に沿った比較を示す(出川，田辺，2006)．いずれも，新規技術を実用化するまでのフェーズが移り変わる際の障壁に関するものである．出川らによると，魔の川は研究と開発のベクトルが異なることに起因する障壁である．ここでは研究シーズを作り出す大学と開発ニーズを持つ企業の間に生じやすい認識・目的のずれと解釈できる．次の死の谷は，技術シーズを事業化する段階で，開発から顧客視点に軸足を移す際に生じる障壁とされる．NIST のモデルにおいては，主にベンチャー企業を想定して，技術シーズを事業化する際の資金不足による障壁と捉えられてきた．さらにダーウィンの海は，新製品が既存市場や競合企業との競争の中で生き残り収益を上げるために必要な市場競争における障壁である．既存事業を持つ企業と大学における産学連携を念頭に置くと，死の谷とダーウィンの海は企業の内部で生じる障壁と位置づけられる．

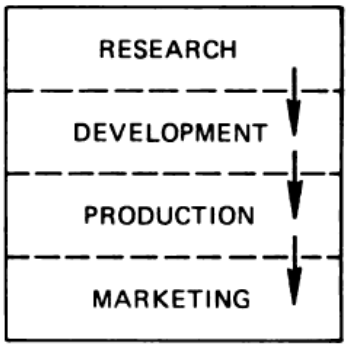

Fig.4-1　Innovation process by linear model. (Kline and Rosenberg, 1986)

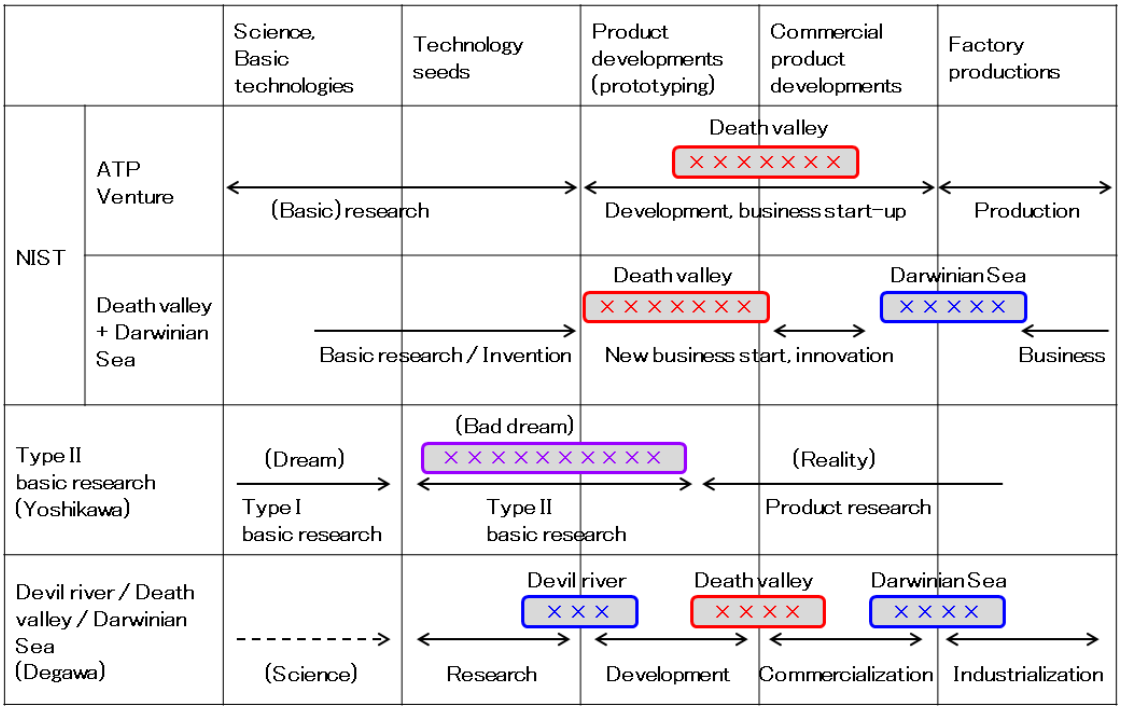

Fig.4-2　Comparison of positioning between various barriers in the innovation process of new technologies. (Modified, Original chart: Degawa and Tanabe, 2006)

Fig.4-2の各モデルにおいては，時間軸として，左から始まり右への完成形に向けた流れのみ考慮されている．科学から始まり，技術シーズが生まれ，開発を経て，事業化に至るというリニアな流れである．これらは主に，ベンチャー企業を中心とする新規技術の事業化を念頭に考えられてきたモデルである．

一方で，連鎖モデルはリニアモデルでは十分にモデル化できない相互作用を取り入れることをKlineらが提唱したモデルである(Kline and Rosenberg, 1986, Kline, 1992)．リニアモデルでは時間軸がリニアになっているのに対して，連鎖モデルは Fig.4-3 に示すようにイノベーションプロセスの各段階における多様な相互作用を考慮している．市場ニーズから発して設計，生産，販売，マーケティングへと至る企業の事業活動そのものがメインのプロセスとなっており，その各段階において蓄積された知識を活用，もしくは新たに研究によって必要な知識を獲得・活用するためのサブプロセスを含んでいる．本モデルでは時間が一方向の単一の流れではなく，フィードバックプロセスも考慮されている．リニアモデルと比較して，多様なイノベーションプロセスが存在する実態をより表したという点で優れたモデルと言われている(小池, 2006)．

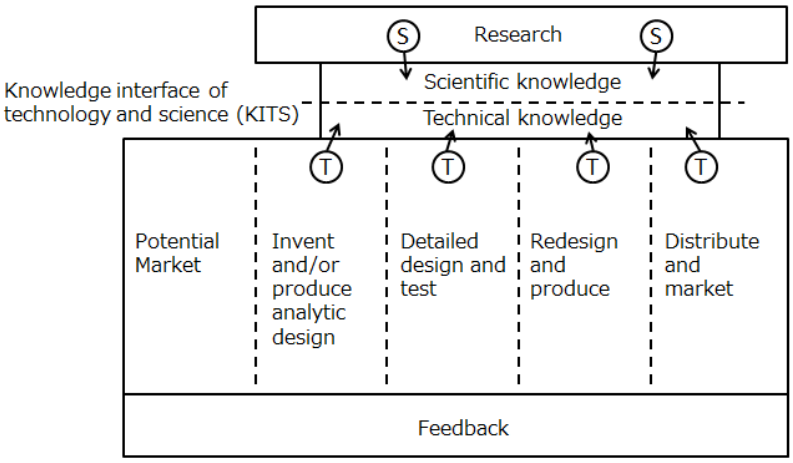

Fig.4-3　Kline's revised chain-linked model. (Modified, Original chart: Kline, 1992)

連鎖モデルは蓄積されている知識を基盤にしてイノベーションを生み出していくプロセスで，研究は新たな知識が必要とされたときに外側のプロセスとして投入される．研究成果はまた知識として蓄積された上でイノベーションプロセスに適宜利用されることになる．連鎖モデルは Kline らが日本の製造業におけるイノベーションプロセスを研究した結果考案したモデルであり，従来型の日本企業におけるイノベーションの特徴に近い(Kline, 1992)．企業において実施されるイノベーションプロセスの実態に近い，多様で複雑なプロセスを表現していると言えるが，産学連携に焦点を当ててその効果的なマネジメントに利用するという点では産学連携の役割が明示的でなく十分ではないと考えられる．

産学連携は一般的に企業内に不足する新しい技術を大学から取り入れて活用し事業に結びつける意図で実施するものであり，そこにはプロセスの一部として研究が欠かせない．既存の知識の応用であったとしても，企業内で未活用の知識であれば企業で活用するためのアレンジが必要であり，研究要素が生まれる．コマツのような摺り合わせ型(藤本, 2003)の機械製造業では特にその傾向が強い．そのため，産学連携を主体にしたモデルにおいては研究がプロセスの一部である方が効果を説明しやすい．

また，産学連携においては Kline の連鎖モデルのように全てのプロセスにおいて研究(大学)が関わることは難しい．連鎖モデルの形で研究が機能するのは，企業内の研究部門ならばありうることであるが，基礎研究と

事業化に近い部分の研究では異なる組織・機能が担っているのが一般的であり，一つの組織で全ての研究機能を担当するのは稀である．産学連携においても，大学は得意とする分野において研究の一部を担うと考えるのが現実的である．

以上のような考えでイノベーションプロセスの中から産学連携に関わる特徴を抽出したのが，次節で著者が提案する技術循環モデルである．

4.3. 技術循環モデルと産学連携

Fig.4-4 に，著者が本節で提案する技術循環モデルを示す．ここで「技術循環」とは，科学 S(Science) → 技術 T(Technology) → 工学 E(Engineering) → 製造＆サービス M&S(Manufacturing & Service) → 科学 S(Science)に循環する流れと定義している．主に産学連携でのイノベーションプロセスを念頭に，科学技術を実際の産業に活用する際の考え方を，一方向でなく，産業からさらに科学技術に戻る循環をキーとしてモデル化したものである．製造業においても，商品であるモノを用いたサービスにビジネスの領域を拡げる例が増えているため，産業の最終段階を製造とサービスの両方とここでは定義している．

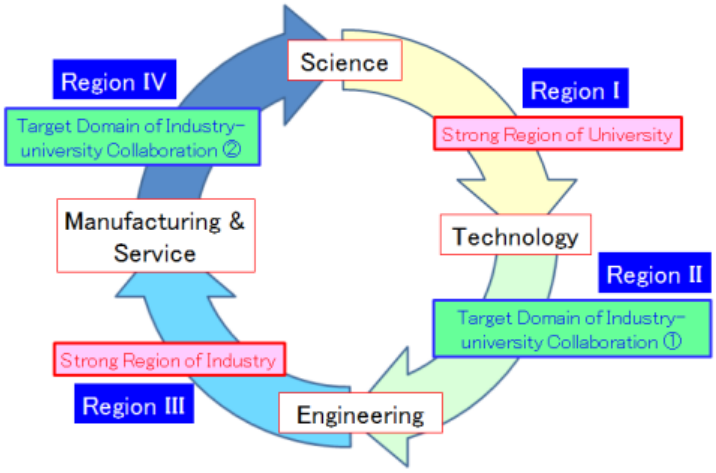

Fig.4-4　Technology circulation model.

本モデルは，連鎖モデルも考慮してリニアモデルに製造・サービスから研究に循環する流れを加えて拡張したモデルと言える．本章においては，技術循環モデルが産学連携をマネジメントする上での考え方や方向性を提示するのに有効であることを，実際の産学連携テーマ事例を通じて立証する．

Fig.4-2 のリニアモデルにおける各種障壁との対応を，出川のモデルを基に Fig.4-5 に示す．線形の時間軸ではなく，製造＆サービス M&S から科学 S に戻る流れがあり循環することが異なる．3 種類の障壁は同様に存在すると考えられるが，技術循環モデルを活用して既存技術を出発点とすることで，それを軽減できると考えている．主に産学連携においての障壁の現れ方とその克服方法について，著者の考え方を技術循環モデルと関連付けて後述する．

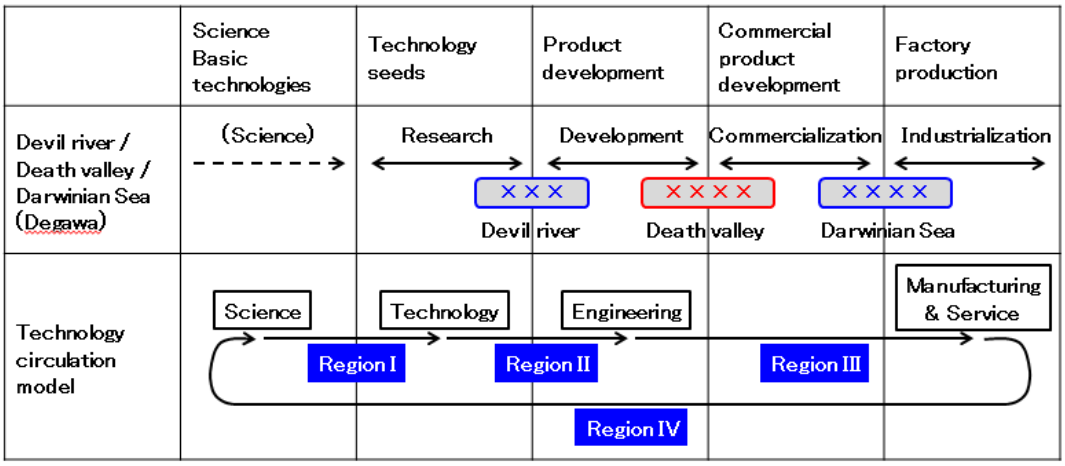

Fig.4-5　Correspondence of barriers between technology circulation model and the preceding model.

Fig.4-4 の科学 S から技術 T の流れ，時計の文字盤に見立てて 12 時→3 時の領域 I は，「科学で明らかにした原理から『モノづくり』に適用する手段を見出すこと」と言える．科学から技術に至った段階で，初めて特許化が可能になる．科学が産業に適用される第一歩である．大学と企業それぞれの特長を考えると，この 12 時→3 時の領域 I は大学に期待される領域である．Fig.4-2 においては，Science, Basic technologies（＝科学 S）から Technology seeds（＝技術 T)に相当する．

次の技術 T から工学 E への流れ，3 時→6 時の領域Ⅱは，「先端技術・特許等を『モノづくり』としての開発設計に向けて確立すること」である．技術を具体的な「モノ」として具現化するためには，技術の完成度を上げて，確実性を持って使用できる条件を明らかにする必要がある．さらに，技術を組み合わせて，ある機能を持った「モノ」として設計し，それを生産する手段を確立する．これは大学が作り上げた科学技術を産業に適用するための最初の段階であり，産学連携によって大学と企業が共に取り組むことで，効率的に実現することが期待される領域である．Fig.4-2 では Technology seeds（＝技術 T)から Product developments（＝工学 E)に相当する．従来の産学連携は，多くがこの領域での取組みと解釈されてきた．この領域には，出川らによって定義された研究シーズと開発ニーズのベクトルの違いに起因する魔の川という障壁が存在すると解釈できる(出川, 2004)．

工学 E から製造＆サービス M&S への流れ，6 時→9 時の領域Ⅲは，「確立した設計・生産技術を『モノづくり』に適用すること」と言える．技術を織り込み組み合わせて作り上げた一個の「モノ」を，「商品」として開発し量産する手段を確立していく段階である．この段階は産学連携の枠組みではなく企業が自ら取り組むべき領域と考えられる．Fig.4-2 では Product developments（＝工学 E), Commercial product developments（＝工学 E と製造＆サービス M&S の中間), Factory productions（＝製造＆サービス M&S)の流れに相当し，死の谷，ダーウィンの海という二つの障壁が存在することになる．ベンチャー企業における死の谷，ダーウィンの海は，それぞれのフェーズにおける外部資金の調達に関する障壁が主にクローズアップされるが，既存企業の内部においても，研究開発部門から生産部門に担当が移行していく段階であり，各部門の役割による目的の違いから，スムーズに次のフェーズに移行できない可能性があるという意味において障壁が生じることが考えられる．しかし，あくまで企業内で生じる障壁であり，本章が対象とする産学連携とは直接の関係は少ないため，今後この二つの障壁について詳細は論じないものとする．

以上の科学 S → 技術 T → 工学 E → 製造＆サービス M&S の 12 時→9 時の流れ(領域Ⅰ～Ⅲ)は，従

来から言われてきた科学技術の産業適用の段階を一方向に再整理したものであり，出川らが整理したFig.4-2とほぼ同じ範囲を表現している．さらに著者は，主に産学連携における製造＆サービスM&Sから科学Sへと戻る流れ，9時→12時の領域Ⅳの重要性に着目した．これは「優れた『モノづくり』から『現象を見える化』し，そこから原理を発見して『体系化，理論化，一般化』すること」である．なお，本論文では「見える化，可視化」は大学の持つ先端的な計測・解析技術を用いて従来技術における現象を捉え，「体系化，理論化，一般化」のためのデータを獲得する過程と考えている．その後，データの中から普遍性や一般性を見出していく過程が「体系化，理論化，一般化」であり，最終的に科学的知見(科学 S)を得る．9 時→12 時の領域Ⅳは，企業がモノづくりの中で経験的に培ってきた，様々な機能を持った「モノ」「商品」を理論化して，12時の科学Sを新たに成立させる過程である．この製造＆サービス M&S から科学 S への循環の流れを活用することが，産学連携では効果を発揮する．Fig.4-3 の連鎖モデルにおいては，各段階からのフィードバックやメインプロセス(市場ニーズ～設計～販売)と研究の間の情報の流れとこの循環の考え方が近い．大学にとっては，このような企業ニーズを起点とした技術循環の流れは，様々な社会的，学術的なニーズを受け入れる入口の一つと考えられる．大学はむろん別の入口も持っており，独自の関心で常に最新の学術的知見をブラッシュアップしている状態にあると捉えることができるし，産学連携においてはそれが大いに期待されている．この大学の機能と，技術循環モデルの 9 時を起点とする企業の従来技術に基づいたニーズというきっかけが結びつくと効果が高い．

企業が長年モノづくりを行い商品として市場に提供していく中では，様々な経験的ノウハウが蓄積され活用されている．その中には，理論的には説明がついていないが，機能や信頼性が高いために広く利用されているというものが少なくない．これは Fig.4-3 の連鎖モデルにおいては，技術的知識に位置づけられており，イノベーションにおいては技術的知識の創造と蓄積が重要であるとしている．確かに，技術的知識，経験的ノウハウは企業の競争力の源泉であるが，一方でメカニズムが未解明のまま用いており，効果的に活用できていない可能性も十分にある．コマツは，産学連携において，このような従来技術の現象を見える化・可視化して理論付けするテーマを広く対象としてきている．連鎖モデルで言えば，技術的知識と研究から新たに生まれた科学的知識の境界面(KITS)での相互作用に注目したものと言える．技術循環モデルでは，連鎖モデルの技術的知識に相当する既存技術の経験的ノウハウを，積極的に研究にフィードバックする流れを重視する．その取り組みの結果，企業におけるモノづくりから理論を見出して科学 S に立ち戻ることで，科学 S → 技術 T → 工学E → 製造＆サービスM&Sのサイクルをもう一度経て，より優れたモノづくりにステージを進める効果を得られることがわかってきた．

企業の経験的ノウハウの中には，長年使用しており一定の信頼性があるため，変更することが容易ではないものが少なくない．この場合も技術循環モデルは効果的である．製造＆サービスM&Sから科学Sへと戻る9時→12 時の流れ(領域Ⅳ)を経れば，従来よりも有効かつ効率的な技術を新たに見出して，理論的根拠をもって適用することが可能となる．

以上の視点で提案した Fig.4-4 の技術循環モデルの中で，産学連携の形を整理すると，2 通りに分類することができる．一つは，科学Sと技術Tを具現化し，工学Eと製造＆サービスM&Sに結びつける従来行ってきた形(3 時→6 時の領域Ⅱ)である．もう一つは，実績のある工学Eと製造＆サービス M&S を大学の先端技術を活用して見える化し，より目的に適った手段を見出していく形(9 時→12 時の領域Ⅳ)である．技術循環モデルの中では，この二つの領域での連携をうまく活用すると，大学と連携した企業のイノベーションが行いやすくなると考えている．この二つの形で産学連携をおこなってきた事例に基づいて，産学連携を企業，大学双方

にとって Win-Win の関係で成功に導くためのマネジメント手法としての技術循環モデルの有効性について，次からの節で分析・考察する．

なお，この技術循環モデルによる整理はあくまで製造＆サービス M&S を最終的な目的とする企業視点のものである．大学が産学連携によって各領域に関わりを持つ場合には、いずれの領域でもその中から普遍性を見出して新しい科学 S に到達することを目指すこととなり，大学視点と企業視点では捉え方が異なってくることに技術循環モデルを活用する際には留意する必要がある．

4.4. 産学連携テーマ成功事例分析

本節ではコマツでこれまでに行われてきた産学連携テーマ成功事例の中から，Fig.4-4 の技術循環モデルの 3 時→6 時(領域Ⅱ)，9 時→12 時(領域Ⅳ)のそれぞれに属するテーマの代表的な成功例を紹介し，産学連携の 2 つの対象領域の特徴とその成功要因を検討する．6 時→9 時の領域Ⅲはここでは産学連携の対象外と考えるため含まないが，12 時→3 時の領域Ⅰは 9 時→12 時(領域Ⅳ)から循環する次の段階として産学連携の流れの一部に組み込まれている．

4.4.1 3 時→6 時(領域Ⅱ)テーマ事例

紹介する 2 事例について，技術循環モデルとの対応を Table 4-1 に示す．2 事例は技術循環モデルの 3 時→6 時の領域Ⅱ(Fig.4-6)を対象に行ったものであり，それぞれの事例における段階がモデルのどの位置に相当するのかまとめたものである．詳細は各事例の中で説明する．

Table 4-1 Correspondence of region II subject case and technology circulation model.

Correspondence of technology circulation model	[1] Development of oblique wavy surface heat exchanger	[2] Soil behavior analysis technology by DEM
Three o'clock : Technology, T	Heat transfer improvement technology by oblique wavy surface	Simulation technology : DEM
	Fin shape optimization under the environment using construction machinery	Algorithm improvements with calculation accuracy and speed to compare blade shapes
Six o'clock : Engineering, E	Effect confirmation by heat exchanger prototype for construction machinery	Establishment of soil behavior analysis technology with high reproducibility for blade designs

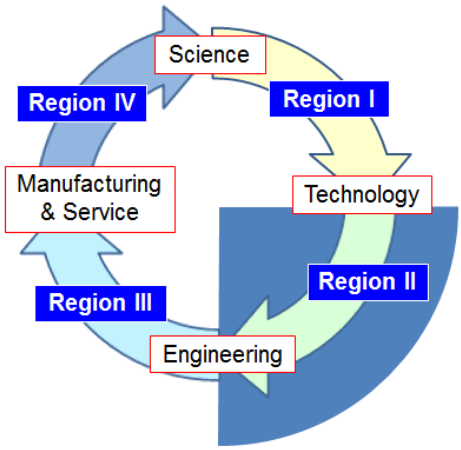

Fig.4-6　Region II in technology circulation model.

4.4.1.1 斜交波状フィン熱交換器の開発（Suzue et al., 2006, 鹿園, 2008, 福田, 鹿園, 2007, 鹿園他, 2010）

大学の研究者によるフィン壁面の斜交波状面化による伝熱促進効果に関する研究の成果を，建設機械(建機)用の熱交換器に適用して実用化した産学連携テーマである．本技術は，産学連携着手時にすでに大学で特許化されており，建機以外の熱交換器用途への試みも行われていたが，建機特有の使用環境における効果が高い技術であることが見出されたために，産学連携を開始して成果につながった．この技術を適用した建機用のラジエータは，従来のものと同じ冷却性能を維持したまま小型化が可能である．建機の使用環境で問題となることの多い砂塵等の目詰まりによる性能劣化が従来よりも少ないため，安定した性能を示す．さらに，冷却性能が向上したことに伴って，ファン動力を低減できるため，騒音低減，燃費低減にも貢献している．

建機固有の使用環境における熱交換器のニーズは，熱交換器前面風速が速いことと，砂塵が多い作業環境に曝されることである．建機は，低車速もしくは一定位置にとどまったまま稼動することが多いことから，自動車とは異なり冷却用のファンで強制冷却している．そのため，Fig.4-7 に示すように，建機のラジエータ(産業用ラジエータの一種)は，層流域でも空調用や自動車用よりレイノルズ数の高い領域で稼動している．

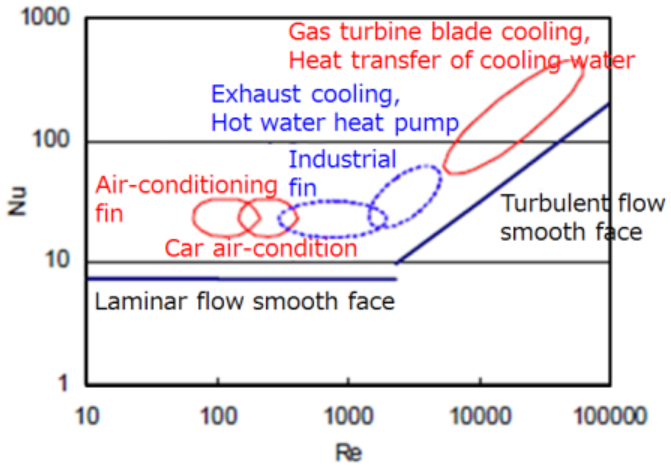

Fig.4-7　Positioning of construction machinery fin in heat transfer improvement technology. (Modified, Original chart: Shikazono, 2008)

本テーマでは，Table 4-1 に示すように，大学においてシミュレーションと小規模モデル実験で高い効果が確認されていた斜交波状面による伝熱促進技術を技術 T として産学連携を開始し，建機の使用環境で高い放熱性と低い圧力損失を両立する斜交波状面の形状をシミュレーションで最適化するとともに，建機用熱交換器を試作して，その効果を確認し工学 E とした．本技術の適用は現時点ですでに 20 機種以上に及んでおり，高い評価を得て今後も引き続き拡大する予定である．

4.4.1.2 離散要素法(DEM)による土砂挙動解析技術 (Nakagawa et al., 2010, Tsuji et al., 2012, Tsuji et al., 2013)

建設・鉱山機械の一つであるブルドーザのブレード(排土板)は，土工作業を行うにあたってエンジン出力のうちの多くのエネルギを消費し，掘削・押土性能や燃費性能への影響度が高い装置である．しかし，土砂や岩石と機械の相互作用は非常に複雑で，解析・シミュレーションが困難であったため，従来は主に経験に基づく設計が行われてきた．新規形状のブレードを開発するためには，模型試験と実験での作り込みに多大な時間と労力がかかり，開発の効率化と期間短縮が課題であった．

本研究では，Table 4-1 に示すように大学が保有していた技術 T であるシミュレーション技術 DEM（Discrete Element Method，離散要素法)を基にして，付着性を有する土砂を物理法則に従ってモデル化し，押土・掘削シミュレーションを行うブレード設計用の解析技術(工学 E)を開発した．この技術を開発用ツールとして実用化するのが最終的な成果である．ブレードに対するモデル土砂粒径の小径化および計算速度向上の取組みを行うことで，作業中の土砂の動きに関して，ブレード形状設計に適用可能な計算精度と速度を備えた大規模解析ができるようになった．特に，それまで実験観測はもとより解析もできなかった土砂中のせん断破壊現象が可視化された成果が大きい．加えて，ブレードに作用する力や各部面圧も計算できるようになった．従来の実験に比べて再現性が高く繰り返しも容易であるため，多くのアイデアを短期間に比較検討でき，ブレード形状設計が効率的に行えるようになった．Fig.4-8 は DEM による掘削シミュレーションと，ガラス粒子と 1/20 スケールブレードを用いたベンチ実験を比較した例であり，挙動が一致している(Tsuji，2013)．シミュレーションでせん断帯が不連続に形成される様子(図中 A, B)が可視化できるとともに，それに応じて粒子(土砂)が盛り上がってくる様子が，シミュレーションと実験の両方で確認できている．

本研究成果は，関連する学会で表彰を受けるなど，高い評価を得た(Nakagawa，2010)．企業内でも次世代ブレード設計に活用を始めている．

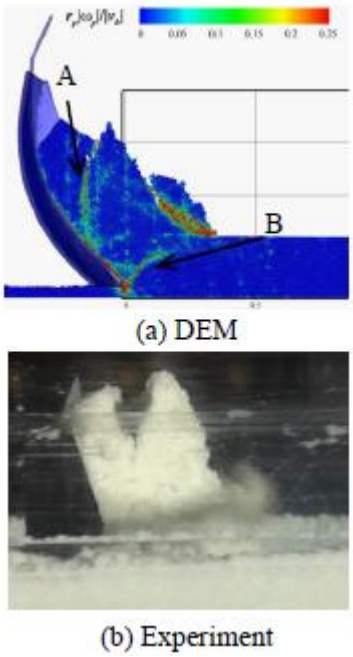

Fig.4-8　Comparison between DEM simulation and experiment in soil excavation. (A and B are shear band, Tsuji, 2013)

4.4.2　9 時→12 時(領域Ⅳ)テーマ事例

紹介する 2 事例について，技術循環モデルとの対応を Table 4-2 に示す．それぞれの事例における段階がモデルのどの位置に相当するのかについてまとめている．詳細は各事例の中で説明する．2 事例は技術循環モデルの 9 時→12 時の領域Ⅱを対象に行ったものであり，その後 12 時→3 時の領域Ⅰ，3 時→6 時の領域Ⅱまで到達して，6 時→9 時の領域Ⅲの企業内の実用化に達する効果を挙げている．Fig.4-9 に示すように，技術循環モデルでは 9 時から 6 時までの広い領域で産学連携を行っていることになる．

Table 4-2　Correspondence of region IV subject case and technology circulation model.

Correspondence of technology circulation model	[1] Visualization of plasma cutting phenomena	[2] Visualization of large-current welding phenomena
Nine o'clock : Manufacturing & Service, M&S	Longer operating life needs for plasma processing machine Visualization of droplet evaporation phenomena	Needs of increase in welding rate Visualization of droplet transfer phenomena
Twelve o'clock : Science, S	Wear mechanism	Droplet transfer mechanism
Three o'clock : Technology, T	Establishment of design condition to control abnormal wear	Welding condition for good droplet transfer form Derivation of optimum condition
Six o'clock : Engineering, E	Long life Hf electrode	Development of large-current MAG welding method

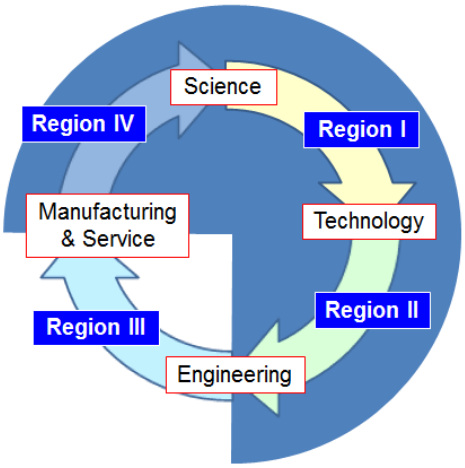

Fig.4-9　Implementing coverage of region IV industry-university joint research in technology circulation model.

4.4.2.1 プラズマ切断現象の見える化（山口他, 2010, 山口他, 2011, Long et al., 2012, Long et al., 2013）

酸素プラズマ切断機は，軟鋼の 6-32mm 程度の中厚板の切断用として広く用いられている．プラズマ切断では，供給電流(切断電流)を増加することでより板厚の厚い鋼板を高速で切断可能となるが，一方で，消耗品であるプラズマトーチのHf(ハフニウム)電極の寿命を短くする．従来の研究では，Hf電極の消耗に関する寿命を予想する損耗メカニズムは明らかになっていなかった．産学連携においては，大学の現象解明手法を活かしてプラズマ加工機を長寿命化することを目的として，損耗速度に関する定量的なデータを収集すると共に，先行研究(Peters et al., 2005)で提示されていた Hf 電極の液滴飛散現象をリアルタイム観測する見える化を Fig.4-10 のように行った．Fig.4-10 には，これまでノズルに阻まれて観察できなかった Hf 電極の動作状態を，観察窓とカラー高速度カメラで直接観察して，Hf 液滴が飛散する現象を捉えた様子を示している．見える化の結果，損耗現象が定常損耗と異常損耗(液滴飛散現象)の足し合わせで起こるメカニズムが判明した．さらにそれを活用して異常損耗を抑える設計を行うことによって，Hf 電極の長寿命化に成功した．その研究成果を報告した論文(山口他, 2010)は，溶接学会論文賞を受賞して高い評価を受けた．

Table 4-2 に示すように，本テーマは 9 時のプラズマ加工機長寿命化ニーズから出発し，9 時→12 時(領域Ⅳ)で液滴飛散現象を可視化して損耗メカニズムを解明，それを受けた 12 時→3 時(領域Ⅰ)の異常損耗を抑える設計条件の確立，3 時→6 時(領域Ⅲ)の長寿命 Hf 電極実用化が実現した事例である．9 時→12 時(領域Ⅳ)の現象解明から実施した本テーマにおいては，12 時→3 時(領域Ⅰ)も含めて大学と企業が常に連携して研究開発を行った．その後，6 時→9 時の領域Ⅲに関して企業内で開発を進め，商品に織り込んだ．本テーマは現在も引き続き産学連携を続けており，実験的な見える化に加えて，実験では見えない現象（固体である陰極と電磁流体のアークプラズマの相互作用）の見える化シミュレーションにも取り組むことで(Long, 2012, Long, 2013)，さらなるレベルアップを目指して研究開発を進めている．

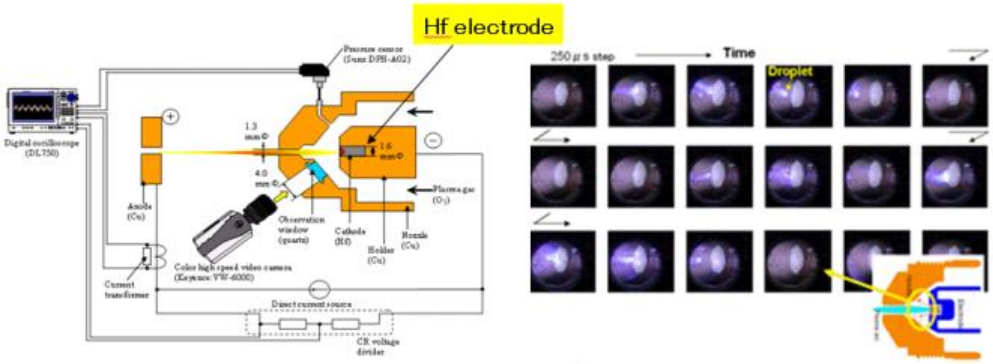

Fig.4-10　Visualization of Hf electrode wear phenomenon in plasma processing machine. (Yamaguchi, 2010)

4.4.2.2 大電流溶接現象の見える化（足立他, 2006）

建機生産効率を高めるため，溶接分野では溶着速度の向上が重要となる．しかしながら，溶着速度を上げるキーとなる溶接電源は，従来は市販の 500A溶接電源を使用し続けており，技術革新が停滞していた．そこで，従来の 2 倍の溶着速度を狙いとして，産学連携によってオリジナルの 600A，700A 溶接電源を開発して実際に工場に導入し，生産能力アップに貢献したというのが本事例である．

産学連携においては，大学の保有する計測技術やシミュレーション技術を活用して，従来困難であった大電流溶接域のアーク現象を高速度カメラで撮影し，大電流域での溶滴移行形態を可視化・見える化することに成功した．Fig.4-11 にその現象を捉えた写真を示す．さらに，溶滴移行現象を解析して溶滴移行のシミュレーションモデルを構築し，安定化の方策を立案した．これらの知見をもとに，大学および溶接電源メーカと共同で，溶接電源および溶接条件の改良を行い，世界で初めての大電流マグ溶接法の開発に成功した．Table 4-2 に示すように，9 時の溶接における溶着速度向上ニーズから出発し，9 時→12 時(領域Ⅳ)で溶滴移行現象を可視化してそのメカニズムを解明，12 時→3 時のシミュレーションモデルの検討を経て，3 時として大電流においても良好な溶接形態の得られる溶接条件が存在することを見出した．さらに，3 時→6 時(領域Ⅲ)で最適条件の導出を行って，6 時の大電流マグ溶接法確立まで至ったものである．本テーマにおいても，9 時→6 時(領域Ⅰ～Ⅲ)の全てで大学と企業が連携して研究開発にあたった．その後，6 時→9 時に相当する段階として，企業における量産ラインに適用し，生産能力向上に貢献した．

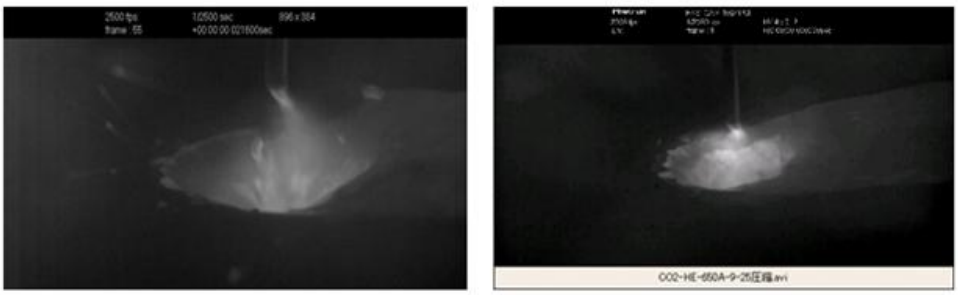

Fig.4-11　Visualization of droplet transfer phenomenon in large-current welding through high-speed camera technique.

4.5. 技術循環モデルに基づく産学連携成功シナリオに関する考察

ここでは，技術循環モデル(Fig.4-4)における 3 時→6 時(領域Ⅰ)，9 時→12 時(領域Ⅳ)の二つの領域における産学連携テーマの成功要因について考察し，主に新たに位置づけて提案する後者の領域のテーマの成功確率の高さについて論ずる．

3 時→6 時(領域Ⅰ)の従来型の産学連携テーマは，大学がすでに保有していた技術Ｔを企業に導入して工学Ｅとする位置づけである．その際には，著者の経験上，企業サイドから強いニーズと信念を持った担当者がアサインされ，大学サイドと企業サイドを強い関係で結びつけることで成功する確率が高まる傾向にある．それぞれが独自に作り上げてきた大学シーズと企業ニーズが連携着手時に完全に一致することは少なく，実現のためにはそのギャップを埋めるための障壁を乗り越える必要がある．これは，出川によって指摘されている Fig.4-2 の魔の川に相当する研究と開発のベクトルの不一致による障壁(出川，2004)を，産学連携において正面から克服する必要があることに相当する．一般に産学連携においては大学による技術シーズ集が用意されることが多いが，それだけでこの障壁を乗り越えるのは難しく，大学と企業双方がそれぞれの技術やニーズについて熟知して判断を下せる目利き能力を鍛えることがキーとなる．

4.3.1.1 で紹介した「斜交波状フィン熱交換器の開発」テーマは，包括連携の責任者である大学教授と企業の産学連携担当マネージャによる技術の目利きがきっかけとなり，共同研究を開始した．建機の排ガス規制対応のためにエンジン冷却負荷が増大し，ラジエータの冷却性能向上が望まれているタイミングであり，大学シーズと企業ニーズがマッチングした例である．共同研究実施段階においては，大学と企業のテーマ担当者が，建機適用のための課題・目標を共有して実物での効果実証まで粘り強く進めたため，建機の量産品適用にまで到達することができた．このように，3 時→6 時(領域Ⅰ)の産学連携テーマは，大学シーズと企業ニーズの一致，それを見極める目利きの存在，大学と企業の担当者の強い協力体制が揃うことによって障壁を克服して，成果を得ることができると言える．

一方，9 時→12 時(領域Ⅳ)の従来技術の現象解明から出発する場合，大学の見える化技術によって科学Ｓが判明すると，最初に従来技術の課題を共有した状態から開始しているため，大学と企業がベクトルを一致させて 12 時→3 時(領域Ⅰ)，3 時→6 時(領域Ⅱ)へと進めることができ，成功の可能性が比較的高くなると考えられる．大学は，それぞれの専門分野において広いネットワークを持って最新の技術的知見を保持している状態にあるため，そこに企業からの具体的なニーズというきっかけを得て，現象解明を効率的に進められるのみならず，新たな気づきがあった場合には，関連した新しい知見を引っ張ってくることができる．現象の見える化による気づきは，企業の研究者にも同様に良い刺激を与えて，新たな技術に対する受容性の高い状態に引き上げる．大学と企業それぞれが独自のポテンシャルに基づいて新たな視点の技術的知見を持ち寄ることによって，それまでとは異なるステージに進化して，イノベーションを生み出す可能性が高まる．

例えば，4.3.2.1 で紹介した「プラズマ切断現象の見える化」のテーマでは，プラズマ切断機の技術レベルが飽和した状況にあり，企業側担当者はそれに対する問題意識と将来ビジョンを持ってはいたが，解決する方策を企業内で見出せていなかったことが出発点となっている．競合技術であるファイバーレーザ等のレベルも接近しており，強い研究ニーズがあった．そこで，大学との包括連携に基づいた双方の目利きの仲介を経て，大学のプラズマ技術の専門家と共同研究を開始することになった．企業側担当者は研究，開発，事業化と一貫して携わった業務経験があり，産学連携においても明確な課題と目標を提示したため，大学側担当者が持つ先端技術と効果的に連携する方向付けをすることができた．さらにこのケースでは，企業側担当者が社会人ドクターコースの学生の立場で大学においても研究を分担することになったため，連携がより強化されること

となった. この枠組みで運営したため, 従来技術の課題が企業と大学の間で常時共有されて連携が強化・促進され, 所期目的を達成する優れた成果が 6 時の工学 E として得られている. その後, 研究成果である解析・シミュレーション技術を設計・モノづくりに反映し, 企業内で 6 時→9 時(領域Ⅲ)のフェーズの実用化を行い, 技術循環が達成されている. また, 企業側担当者も成果を認められ, 学位を取得した. 企業側担当者の学位取得後も, 大学とは引き続き強い連携関係にあり, さらなるレベルアップを目指した研究を継続している.

従来の 3 時(技術 T)から始める産学連携では懸念される 3 時→6 時(領域Ⅱ)に存在する魔の川と呼ばれる障壁についても, 9 時(製造＆サービス M&S)から始める場合は, 障壁の生じる前の段階から大学シーズと企業ニーズを一致させた状態で行っていくため, 障壁とはなりにくい. また, 6 時以降の企業内の実用化・事業化フェーズにおける死の谷, ダーウィンの海についても, 従来技術を出発点として生産・マーケティングサイドが最初から関与しており, そのニーズを研究開始時点から織り込んで進めているため, スムーズに進む場合が多い. このようにして, 既存の製品やサービスの見える化から出発した産学連携テーマは, 現象解明・理論化, それに基づく新たな技術シーズ創出, 実用化を目指した開発設計において企業ニーズと大学シーズのベクトルを一致させることで, 既存事業のイノベーション実現という循環を果たすことができるのである. もちろん, このケースにおいても, ベクトルを一致させるために実施期間の各フェーズで目標の共有や修正を必要に応じて行い, これまでに述べたような技術循環モデルに基づく産学連携成功シナリオの原則を担保しつつ実施することが重要である.

他にも 9 時→12 時(領域Ⅳ)テーマが産学連携において有利な点が考えられる. 産学連携では, 大学の社会的使命としての成果発表と企業秘密とのジレンマがしばしば課題となっている. しかし, 12 時の科学 S を通る 9 時→12 時(領域Ⅳ)テーマは, 成果の一部が企業の実業から距離があるため成果発表を行いやすい側面があり, 大学のメリットも大きい場合が多い.

そもそも, 事業ドメインをすでに確立している企業がそのドメインで産学連携を行う場合は, たとえ 3 時→6 時(領域Ⅱ)で大学から新しいシーズを導入する場合においても, 基本的に既存事業である 9 時から発生したニーズがその動機となっていることが多い. 企業ニーズと大学シーズの一致が難しいケースが多いことを考慮すると, シーズを作り上げる 12 時→3 時(領域Ⅰ)より前の段階から連携を始めることで, ベクトルを一致させて行う方が近道になる場合も多いと考えられる. それが 9 時→12 時(領域Ⅳ)の産学連携テーマの有利な点と言える.

なお, 技術循環モデルは既存事業を出発点としても, その小改善をねらっているものではない. 経験的に行ってきた従来技術を体系化・理論化・一般化することで, 飛躍的なイノベーションを実現することをねらいとするものである. 先にも述べたように, 従来技術の現象の見える化によって, 大学と企業の技術に対する受容性が高くなり, それまでとは異なる視点での体系化・理論化・一般化によって, 従来とは異なるステージに進む不連続なイノベーションを生み出す可能性も高くなる. 場合によっては, 一回のサイクルではイノベーションを行うことが難しいテーマもあるかもしれないが, 技術循環モデルを何度か回すことで, 体系・理論が強化されて飛躍的なイノベーションの実現に近づけることができる.

以上で述べてきたように, 産学連携テーマを技術循環モデルに基づいて二つに分類して位置づけると, それぞれの特徴に応じて, 成功シナリオを描くために留意するべき点がわかりやすくなる. 産学連携テーマのマネジメントにおいては, 各テーマを分類した上で成功する条件が揃っていることをチェックし, テーマの企画や実施段階での軌道修正等を行うべきである.

4.6. 結言

本章では，ライフサイクルコスト低減に着目した顧客価値を創造するにあたって，産学連携でイノベーションを行うための新たな枠組みとしての技術循環モデルと，それに基づいて効果的に産学連携を企画・実行するためのマネジメント手法について提案した．以下に本章の論点をまとめる．

・企業にとってのイノベーションを大学と共に行うための産学連携のマネジメントの枠組みとして，従来のモデルを改良した技術循環モデルを提案した．既存の事業ドメインに関する産学連携では，このモデルの視点が有効である．

・9 時→12 時の領域Ⅳ(従来技術の見える化：現象解明)における産学連携の有効性を新たに示した．従来技術の課題に対する明確な企業ニーズに沿った共同研究を行いやすいテーマであり，成功の可能性が高くなる．

・従来の産学連携に多い 3 時→6 時の領域Ⅱ(新規技術の導入)では，大学シーズと企業ニーズのマッチングと，それを見極める目利き能力，大学・企業双方の研究担当者の強い協力体制が揃うことで成功確率を上げることができる．

[参考文献]

足立浩隆，堅田寛治，平田好則，大電流マグ溶接の溶滴移行現象，溶接学会全国大会講演概要，Vol.79 (2006) p.112.

出川通，技術経営の考え方―MOT と開発ベンチャーの現場から，光文社新書，(2004).

出川通，田辺孝二，ベンチャー企業における「日本型死の谷」の考察(ベンチャー経営と政策)，研究・技術計画学会年次学術大会講演要旨集 21st，(2006) p.1143.

藤本隆宏，能力構築競争－日本の自動車産業はなぜ強いのか，中公新書，(2003).

福田健太郎，鹿園直毅，斜交波状面の伝熱促進効果に関する研究，2007 年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，(2007) p.293.

Kline, S. J. and Rosenberg, N., An overview of innovation, In the positive sum strategy, National Academy Press, (1986) p.275.

Kline, S. J.，イノベーション・スタイル―日米の社会技術システム変革の相違―，アグネ承風社，(1992).

小池一成，産学官連携による研究開発の課題―地域産業と大学による研究開発を中心に―，地域政策研究，Vol.8, No.3 (2006) p.275.

Long, N. P., Katada, Y., Tanaka, Y., Uesugi, Y. and Yamaguchi, Y., Cathode diameter and operating parameter effects on hafnium cathode evaporation for oxygen plasma cutting arc, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.45 (2012) p.435203.

Long, N. P., Tanaka, Y., Uesugi, Y. and Yamaguchi, Y., Numerical investigation of the effect of cathode holder shape on hafnium cathode evaporation for an oxygen plasma cutting arc, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.46 (2013) p.224012.

Nakagawa, Y., Tsuji, T., Takayama, T., Matsumoto, N., Tanaka, T. and Kadono, Y., DEM simulation of cohesive soil-pushing behavior by bulldozer blade, Proceedings of the Joint 9th Asia-Pacific ISTVS Conference and Annual Meeting of Japanese Society for Terramechanics, No.071 (2010).

西村吉雄, 産学連携―「中央研究所の時代」を超えて, 日経 BP, 東京, (2003).
科学技術・学術政策研究所, 科学技術の状況に係る総合的意識調査(NISTEP 定点調査 2013), (2014).
Peters, J., Yin, F., Borges, C., Heberlein, J. and Hackett, C., Erosion mechanisms of hafnium cathodes at high current, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.38, No.11 (2005) p.1781.
鹿園直毅, 気液熱交換器の技術課題と研究動向, 第 48 回銅及び銅合金技術研究会講演大会講演概要集, (2008) p.44.
鹿園直毅, 井上満, 澄野慎二, 斉藤雄介, 矢部充男, 斜交波状フィン熱交換器の試作評価, 第 47 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (2010) p.319.
Suzue, Y., Morimoto, K., Shikazono, N., Suzuki, Y. and Kasagi, N., High performance heat exchanger with oblique-wave walls, 13th International Heat Transfer Conference, Vol.18 (2006).
髙村藤寿, 太田順子, 西澤泉, 現場志向に基づいた顧客価値創造のためのビジネスモデル, 日本機械学会論文集, Vol. 82, No. 835 (2016), DOI: 10.1299/transjsme. 15-00360.
一般社団法人日本機械工業連合会, 平成 20 年度 機械工業の基盤技術に関する研究開発動向調査－機械工業の基盤技術に関する調査専門部会報告書－, (2009).
Tsuji, T., Nakagawa, Y., Matsumoto, N., Kadono, Y., Takayama, T. and Tanaka, T., 3-D DEM simulation of cohesive soil-pushing behavior by bulldozer blade, Journal of Terramechanics, Vol.49, No.1 (2012) p.37.
Tsuji, T., Matsui, Y., Nakagawa, Y., Kadono, Y. and Tanaka, T., DEM study on the interaction between cohesive granular materials and tools, POWDERS AND GRAINS 2013: Proceedings of the 7th International Conference on Micromechanics of Granular Media, AIP Conference Proceedings, Vol.1542 (2013) p.947.
山口義博, 吉田和記, 上杉喜彦, 田中康規, 森本茂夫, 箕西幹夫, 斉尾克男, 酸素プラズマ切断におけるハフニュウム電極損耗現象についての研究, 溶接学会論文集, Vol.28, No.3 (2010) p.311.
山口義博, 吉田和記, 片田優介, 上杉喜彦, 田中康規, 切断用酸素プラズマトーチの電極現象の実験的考察, 溶接学会論文集, Vol.29, No.1 (2011) p.10.
吉川弘之, 内藤耕, 第 2 種基礎研究－実用化につながる研究開発の新しい考え方－, 日経 BP 社, (2003).
吉野完, R&D バブル崩壊後のハイテク開発戦略 「死の谷」を越えて, 知的資産創造, No.5 (2003) p.80.

第 5 章　共同研究講座を通じた産学連携の高度化 ―産業界から見たその特徴と成果―

5.1. 緒言

ライフサイクルコスト低減に着目した顧客価値創造を目指して産学連携によるイノベーションを推進するにあたって，前章で述べた技術循環モデルのような産学連携のマネジメント手法に加えて著者が重視しているのが，産学連携における組織的な枠組みである．組織的産学連携は，国立大学の法人化を機に増えた，大学と企業が組織対組織で連携する種々の取組みを総称するものである．従来の大学と企業の研究担当者が直接連携する形では個別の課題やニーズの解決が主であったが，大学と企業が組織として関与することで，組織としての大きな目標に向かってより本気で産学連携を活用することが可能になる．

組織的産学連携の取組みの一つとして，2006 年に大阪大学(以下，阪大)で初めて開設された共同研究講座制度がある(阪大，2006)．大学の中の組織として産学共同研究を行うことを目的として新たに講座を設置したもので，当時一般的であった寄附講座(文部省，1987)とは異なり，大学と企業が共に目標を設定し，その実現に向けて産学双方が組織として共に責任を持って研究を実施していくものである．共同研究講座には企業の研究者が常勤もしくは非常勤として所属することも多い．以前は企業の中央研究所が担ってきたような先端，先行的な研究を，大学内に場を作ることで実施していると言うこともできる．大学の最新の科学技術と企業の実用化に向けた戦略が連携することで，企業の中央研究所よりも幅広い研究開発フェーズの役割が果たせる可能性がある．

産学連携はオープンイノベーションという広い枠組みの中では一部の役割を果たすのみであるが，著者は自社外との連携を活用する端緒として，産学連携の効率化に取り組んでいる．本論文では，産学連携の枠組みの一つである共同研究講座について，コマツが制度開設時から関わった阪大の講座での取組みを基に，主に企業サイドからその特徴と成果について論述する．9 年間の取組みを分析することで，共同研究講座が産学連携を活用したイノベーションを行う上での様々な課題を解決する方策の一つとなりうることを明らかにする．

5.2. 組織的な産学連携の取組みと共同研究講座

産学連携は，従来は大学の特定の研究室と企業の一部門との関係で行われていることが多かったが，国立大学の法人化以降，産学連携が強化される中で，大学と企業が組織対組織で連携する取組みが増えてきた(西尾，2004)．組織的な連携を行って，大学と企業双方の幹部によるコミットメントが行われ，マネジメント体制も整うことで，成果を上げる確率が上がってきている．本章で取り上げる共同研究講座の他に，包括連携(西尾，2004)，共同研究創出マッチングプログラム(岩田他，2010)，地域の産学連携クラスタ(岡崎，2010)等がある．

包括連携は，大学と企業の組織対組織で契約を結び，組織的なコーディネートの下で大学シーズと企業ニーズのマッチングを行い，複数の新たな産学連携テーマを企画・遂行するものである(西尾，2004)．コマツも複数の大学と包括連携契約を結んでおり，主に研究開発部門所在地近隣の大学と地域性を活かした効果的な産学連携を行うことを目的としている．企業と大学がテーマ設定と定期的なチェックに組織として関与することや，企業の事業分野に造詣の深い大学教授が大学の連携責任者として任命されること等がキーとなり，企業での実用化等の成果を得る確率が上がってきている．

共同研究創出マッチングプログラムは東京大学(以下，東大)の Proprius21(岩田他，2010)を始めとする取組

みである. この枠組みでは, 産学連携テーマ創出におけるマッチングに重点を置いている. 企業側から示された具体化前の技術課題について, 企業と大学との間で共同研究に入る前の段階で徹底的に議論をして計画を立案し, 最適なパートナーとのマッチングを全学に亘って行う活動である.

地域の産学連携クラスタは, 東京都・神奈川県・埼玉県にまたがる多摩地区の産学官金連携を推進するTAMA 協会による取組み(岡崎, 2010)を始めとするもので, 地域の大学, 大企業, 中小企業, 公的機関の産学官に加えて, 地域の金融機関が参画する産学官金の連携であることが特徴的である. 地域の中小企業との関係が深い金融機関は, 資金面の支援以外にも連携の推進で大きな役割を果たしている. 主に地域振興のための中小企業活性化を狙ったものであり, 地域の特色を活かした大きな活動になっている.

これまでに述べた大学と企業の組織的な連携の枠組みは産学連携テーマのマッチングに特に重点を置いたものである. 実施段階でもテーマの進捗管理に関与する枠組みもあるが, 基本的には開始してからは大学と企業のテーマ担当者が個別に活動するのが主体となる. 一方で, 本章で取り上げる共同研究講座は, 大学の中に産学共同研究を行うことを目的とした専用の講座を新たに設置し, その運営に大学と企業が組織として共に責任を持つ仕組みである. そこでは, 従来よりも踏み込んだ形の産学連携が行われている.

共同研究講座は2006年に阪大において初めて開設された制度である(後藤, 2011, 馬場他, 2014, 奈良他, 2014, 奈良, 2015). 従来からあった寄附講座は企業から大学への奨学寄附金に基づいて設置される講座であり, 寄附元の企業の事業にとって重要な学術分野を対象にするのは当然であっても, 学術振興のためという奨学寄附金の理念に基づいて, 大学の自主的な運営に委ねられたものであった. 例えば鉄道事業等公益企業の場合は, 寄附講座での成果が間接的に公益として企業経営に反映されるが, コマツのような製造業においては, 寄附講座の成果が事業あるいは株主に対してどのように成果をもたらすかは説明し難い. そのため, 数千万円規模の予算を必要とする講座設置に当たっては, 運営に企業が直接関与しその成果を明示的にレポートできる共同研究講座制度が好ましい.

共同研究講座の基になっているのは産学共同研究である. 共同研究は, 学術振興を目的とした奨学寄附金や研究を大学に委ねる委託研究とは異なり, 大学と企業双方が協力して研究を行うものである. ただし, 実質的には企業の提示するニーズを受けて, 大学が研究の大部分を担当するケースが多い. 大学と企業が組織としても場としても分離している以上, 「共同で」行うことに限界が生じるためである. この形で共同研究を行った場合においても, むろん多くの成果を得ることができたが, 研究を進める段階で特に大学と企業の間の摺り合わせが重要になるテーマにおいては, 組織や場が分離した状態では限界が生じることがあった. 共同研究講座は, 共同研究をより実質的に「共同で」行う環境を整えるために, 大学の中に大学の組織の一つとして講座を設けて居室も置き, 大学と企業双方の研究者が大学のスタッフとして所属できるようになっている. 大学と企業が協議して産業化を見据えた研究テーマを設定した上で, テーマ内容に合わせて「産」と「学」から研究スタッフを配置し, 共同研究に従事できる環境を整える. 継続的な場を設けることで, 中長期的な戦略を実行しやすいプラットフォームとしての役割も果たしている. 専任の研究者と研究室を設けて集中的に研究を行うため, 研究予算の面では年間数千万円程度と規模が大きいのも特徴である. 大学にとっても, 企業を通じて社会的なニーズに常時触れることによって研究・教育活動が活性化するというメリットが期待できる.

5.3. 阪大における共同研究講座の実施事例

共同研究講座は, 前述したように2006年に阪大がコマツ, ダイキン, 新日鐵化学とともに初めて開設した制度であり, コマツはその創設メンバーの一員として初代の三つの設置講座の一つに参画している(吉灘他,

2015). 本制度は2014年に第12回「産学官連携功労者表彰～つなげるイノベーション大賞～」文部科学大臣賞を受賞した(文科省, 2014). 従来の共同研究や寄附講座とは異なる, 常時大学と企業が共同で研究する場を提供する新しい形の産学連携制度によって, 大学側のシーズと企業側のニーズがマッチしやすい環境を整備したとして, 高く評価されている. また, 他大学や産業界からの評価を受け, 東大の社会連携講座(東大, 2016)等, これと理念を共有する制度(以下, 共同研究講座等と総称する)が全国 20 大学以上に設置され拡大している.

阪大における共同研究講座制度は, 阪大の産学官連携の理念である“Industry on Campus”の具現化が基になっている.「産」と「学」が対等の立場で共通の課題について共同して研究を行う大学内に設置される独立した研究組織を実現し, 様々な課題に柔軟かつ迅速に対応して研究活動を行うのが目的である. Fig.5-1 に阪大が提示する共同研究講座の概念図を示す(馬場, 2011). 講座は, 大学が研究者・施設・設備等, 企業が研究資金・研究者・研究資料等をそれぞれ提供して, 大学内に設置するとされている. 長期間に亘る取組みが必要と考えられる基盤技術の技術革新を目指す研究や新しく獲得する先端技術の研究, 大規模な共同研究等を行うことが可能となる. 得られた成果は原則として大学と企業が共有する. 馬場ら(馬場他, 2014, 奈良他, 2014, 奈良, 2015)は, 阪大サイドで共同研究講座制度を運営した立場から, 従来型の産学共同研究は実質では「請負研究」であり, 共同研究講座制度を発足させて企業と真に共同で実施できるように産学連携を強化することで, 大学の本来の役割である教育と研究力を高めることができると指摘している. 予算の大型化による研究の充実, 産業界からの課題提供やそこから発展した研究に関与する学生の教育効果の向上等が実現している. また, 種々の共同研究講座の成果から 4 つの成功モデルを示して, 共同研究講座の有効な活用方法を示している.

Fig.5-1 Concept of Osaka University joint research chair. (Baba, 2011)

コマツと阪大の産学連携の主な活動推移を Fig.5-2 に示す. 2004 年以前の個別の共同研究を行っていた時期を第 0 世代とすると, 2005 年 1 月から包括連携協定締結に基づく組織的な取組みを開始して産学連携の運営の高度化を図った第 1 世代, そして包括連携協定に加えて共同研究講座を開設した 2006 年 7 月からの第 2 世代, さらに共同研究講座の発展形として協働研究所に移行した 2015 年 4 月からの第 3 世代と, 段

階を踏んで拡大してきた.

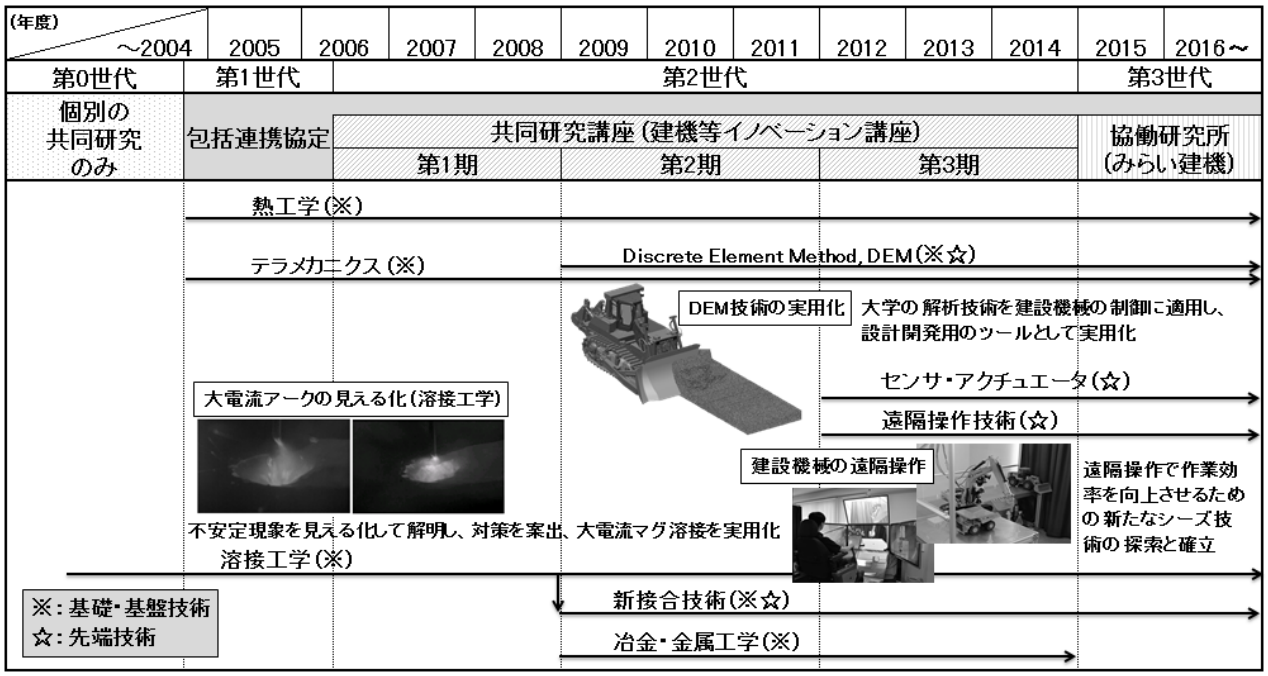

Fig.5-2 Main activities of author's industry-university collaborations in Osaka University.

個別共同研究を行っていた第0世代は, 様々な基盤・先端技術の共同研究を当該技術担当部門単位で大学と行っていた. 包括連携協定を結んだ2005年1月からの第1世代では, 基盤技術である溶接, 熱工学, テラメカニクス等の共同研究を主に実施して成果を得, 大学とコマツの人的関係も深まった. 産学連携の成果が拡大してきたことを受けて, コマツはより高度な産学連携の実現を狙いとして, 阪大とともに共同研究講座制度を開設して2006年7月に「建機等イノベーション講座」を設置した. 共同研究講座を開始した第2世代以降, 大学の中に「産」と「学」が共同研究に専念できる場を継続して設けている. 第 3 世代の協働研究所は共同研究講座の発展形として開設したものであり, 今後の展開として結言で触れる.

共同研究講座は, 2006年度の設置から2014年度までの9年間を3年一区切りの3期に分けて契約を結び, それぞれの期で研究テーマ・目標を設定して活動してきた. 共同研究講座の第1期は熱工学や溶接工学等の基盤技術テーマを実施し, 第2期は建設機械(以下, 建機)と土の関係を解明するテラメカニクス関連から新たなシミュレーションである離散要素法(Discrete Element Method, DEM)技術の実用化を中心に行った. DEMの詳細に関しては5.4.1で述べる. 第2期までは, 2005年から締結している包括連携に基づいて継続的に実施してきた個別の共同研究テーマの中から, 発展性のある重要なテーマを選択して共同研究講座の核に据えたものである. 主に建設・鉱山機械メーカとしての基盤となる技術の見える化によるメカニズム解明が目的である. 講座外においても同様な趣旨の個別共同研究テーマを行っている. 共同研究講座での集中的な取組みが終了して成果を上げたのちにも, 必要に応じて個別研究テーマとしてさらに次の段階の応用研究を進めているテーマもある. 続く第 3 期では新たに, 建機の将来像の実現を目指した遠隔操作システムの研究に取り組んできた(吉灘, 2015).

共同研究講座では, 大学の連携責任者として任命された教授が全体のマネジメントに一貫して関与し, 大学サイドの窓口, 世話役として, 講座の運営上の責任者の役割を果たしている. テーマ企画時の研究者との

マッチングやテーマ推進時の定期的な進捗管理(後述する年 2 回のトップマネジメント参加の会議を通じたもの)等を行うのがその大きな役割である. 一方で, 講座に所属する産学双方の研究スタッフは, テーマに応じて入れ替わっている. いずれの期も専従で特任の教授, 准教授, 助教, 研究員を企業と大学双方から任命してバランスよく配置するようにした. 大学のみならず, 企業の研究スタッフも原則大学に常勤としたことよって, 企業と大学の関係がより深化して大きな効果を得ることとなった. 大学サイドの特任教員の多くはその後阪大で正規の教員となり, 講座の外側から産学連携を継続してサポートする立場にある.

第 1 世代の包括連携協定締結以降の組織的な連携においては, 大学と企業双方のトップマネジメントが参画する会議を年2回開催して, テーマの企画・進捗に対して一貫して評価を行っている. テーマ担当者だけでなく双方の組織のトップマネジメント層が産学連携テーマの管理に関与する形を取っているため, テーマの進展および完了後の企業内での実用化に向けた道筋について, より実効性のある枠組みが維持されることになり, 効果的である.

Fig.5-3 で共同研究講座の構成を改めてより詳細に考えると, 共同研究講座は, 大学から教員や学生, 高度な学術基盤, 研究設備, 多様な人的ネットワーク等が, 企業から教員や研究員, ニーズ, 研究資金, 企業内外の人的ネットワーク等が提供され, 大学の内部に設置されつつも大学の機能と企業の機能が重なったような領域において運営されることになる. 講座は, 大学では協力講座や産学連携支援オフィス部門等と密接につながり, 一方企業ともテーマ担当の研究開発部門を中心にテーマに関連する生産, マーケティング等の部門と協力関係にあり, 都度複層的なコミュニケーションを結びつつ活動を行っている. なお, 大学の協力講座とは, 共同研究講座の協力教員に任命されている教員の所属する大学固有の講座である.

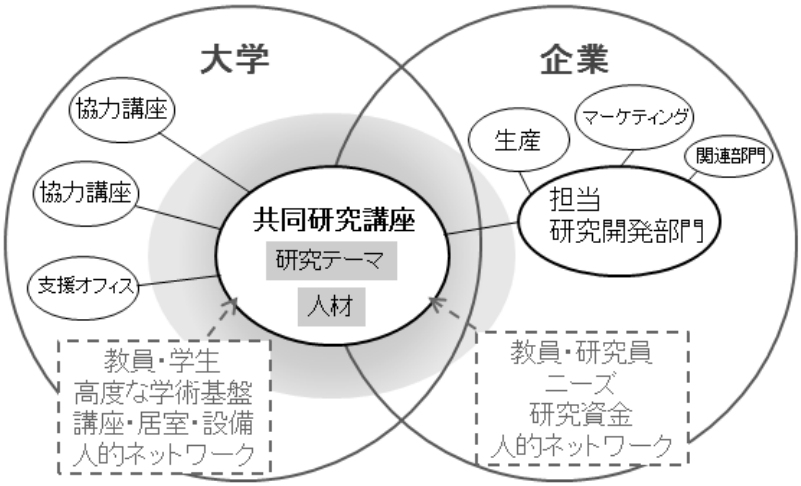

Fig.5-3 Joint research chair.

阪大では“Industry on Campus”の理念を掲げて産学連携を行っているが, その具現化の一つとしてコマツは一般的な共同研究以上にマーケティング部門まで踏み込んだ企業の現場(自企業および顧客)に大学の教員や学生を招いて, 産業における現場の課題を共有することで, 共同研究講座の実効性を高めるよう努めている. これを基に大学からも新たなアプローチが提案される呼び水にもなっている. 常時大学内に共同研究を行う場があり大学と企業が双方向対話を続けられることが大きなメリットになっている.

阪大の共同研究講座の有効性を受け, コマツは, 2007 年度から東大の社会連携講座制度(コマツ, 2007),

2015 年度から東京工業大学の共同研究講座制度(コマツ, 2015)にも参画して, 講座を設置している. 前者では建機等の産業機械の技術革新に必要な研究を広範囲に行っており, 実用化したテーマも複数出て, 3 年/期の 4 期目が始まっている. 後者は講座を開設したばかりであるが, 建機における重点課題であるトライボロジー技術の機械・材料・化学に亘る学際的研究体制を実現して, 当該技術の課題解決能力を強化することを目指している. なお, 各大学の共同研究講座等の制度においては, それぞれの大学の歴史・文化的背景に応じた制度設計がされており, 特色ある運営が成されている.

5.4. 共同研究講座において発揮される産学連携の機能

2006 年度の制度開設時より阪大において共同研究講座を運営し, 大学と企業のより実効性の高い産学連携を模索して進化する取組みを進める中で, 企業が参画する観点から共同研究講座における特に有効な産学連携の機能として, 以下の 3 つに総括できると考えるに至った.

①大学シーズの社会実装に向けた検証の場

②ネットワークを活用した人材育成・交流の場

③基盤技術を大学内で維持・発展させる場

企業にとっては, 共同研究講座は大学の中に設置した産学連携テーマとそれに関わる人材や基盤技術を育てる存在と考えることができる. ①②の機能は, 包括連携から共同研究講座へと組織的産学連携の形を進化させていく中でより高度化されることを期待していたものであるが, ③については, 中長期的なビジョンが必要であり, 包括連携の中の個別共同研究で実現するのは限界があった機能である. 共同研究講座という組織としての実体を持つことで実現することが期待された.

以下の節で, 上記の各機能の分析の詳細を, 従来よりもさらに高度化した機能①②と新たに実現された機能③に分けて述べる.

5.4.1 共同研究講座によって高度化された産学連携の機能

産学連携においては, 大学の技術シーズを社会実装するまでの「橋渡し」を円滑に行うことが従来からの大きな課題であり, コマツが組織的産学連携を発展させて共同研究講座を開始する際には, この機能がそれまでの連携の形態よりも拡大することが期待されていた. また, その源泉となるのが, 産学連携を行うための人材の育成や人的ネットワークの形成であり, この点においても大学と企業が同じ場を共有する共同研究講座においてよりいっそう効果が高まることが見込まれていた. 先に述べたように, 従来の共同研究においては, 実質的には企業がニーズを提供し, 大学が研究の大部分を担当するケースが多いが, 共同研究講座では大学と企業の研究者が講座という場を共有して常時共同で実施する環境が整うためである. 共同研究講座は, 第一にはこの上記で挙げた①②の機能を高度化することが期待されて始まった枠組みであり, 3 期 9 年の取組みの中で効果があることが実証されてきた.

コマツのような機械製造業では, 産学連携を行う際は主に大学の工学系の部門が連携先になる. 工学分野では, 複雑な機構・機能を有するモノづくりが基本となるため, 技術シーズから実用化に至る段階に障壁が大きい. いかに有望な技術シーズであっても, 実際のモノ, 製品, サービスとして具現化するには, 技術の完成度を上げて確実に性能を発揮して使用できる条件を明らかにする必要があり, この「橋渡し」の過程に大きな労力と時間がかかる.

「橋渡し」の産学連携が効果的に行われている例として, 創薬分野がある. 医学部を有する大学と製薬会社

による産学連携であり，その成果である医薬品の実用化にあたっては，大学の付属病院がその治験の現場となり，「橋渡し」の機能を果たす．そもそも創薬は，科学と実用が比較的近い技術分野であり，大学の先端研究によって有効な化学成分が発見されさえすれば(ただし，その難易度は著しく高い)，それを医薬品という製品として具体化する方法論は比較的整っている．実用化への「橋渡し」における一番の関門は，効果と安全性の実証といえる．その実証を大学病院という継続的に整備された現場を用いた産学連携を通して行うことで，スムーズに実用化へのステップを踏むことができる．

一方，工学部には医学部の付属病院に相当する現場機能がこれまで存在していなかった．この「橋渡し」となる機能について，近年ドイツのフラウンホーファー協会(以下，FhG)の基礎研究を事業化につなげる取組みが注目されている(経済同友会，2014，中村，2014)．中村によると(中村，2014)，FhG は受託による応用研究機関であり，単体では基礎研究を原則として行っていないが，研究所が大学内に附置されて研究者が大学と協会を兼務していることが多く，大学と一体化した基礎研究からの「橋渡し」研究が行われている．日本においても「橋渡し」機能の実現のために国立研究開発法人産業技術総合研究所(以下，産総研)の役割拡大が期待され，活動が始まっている(経済同友会，2014，中村，2014)．ただ，産総研は大学とは分離した組織であって，FhG とは性質が異なるため，日本ならではの取り組みが必要とされることが指摘されている(中村，2014)．著者は，大学内に共同研究講座を設置することでも，この「橋渡し」を行う具体的な現場が形成できると考えている．中村(中村，2014)は，「橋渡し」機能を行う手法として，①公的研究機関が技術シーズを事業化に「橋渡し」するパターン(FhG や産総研に相当)，②大学等からスピンアウトしたベンチャー企業が「橋渡し」するパターン，③大学と企業とが直接，あるいは国の研究開発プロジェクトを介して連携する産学官連携パターンを挙げている．共同研究講座は③の手法の一つに相当し，大学と企業の研究者が共に所属する共同研究講座という場を用いて，大学の先端的な研究から生まれた技術シーズについて，社会実装の段階まで昇華させるための応用と検証を従来型の産学連携よりもさらに円滑に行うことが可能になる．高度な技術シーズを提供する大学の研究者と，企業ニーズを熟知して方向性を示す企業の研究者が同じ場で密に協力できる共同研究講座のメリットを有効活用した結果である．

コマツが実施した産学連携テーマの「橋渡し」事例を紹介する．建設・鉱山機械は土砂や岩石を相手に仕事をする機械であり，土砂や岩石と機械の複雑な相互作用を解明していくことが重要である．その目的のために前述したように DEM というシミュレーション技術に関する共同研究を阪大と行っている．建設・鉱山機械との関係においては，土砂は粉粒体としての挙動を示すため，有限要素法等の連続体近似の手法では現象を表現することができず，DEM のような個々の粒子運動やその相互作用を計算する手法が必要になる．Fig.5-2 に示すように，これは第 2 期の共同研究講座における主要テーマである．DEM は商用ソフトも存在するためコマツでも従来から導入していたが(加納他，2003)，粉粒体挙動を表現するためには連続体近似に比べて膨大な計算能力を必要とするため，現実的な計算時間においてはモデル土砂粒径が大きいものしか扱えず，実際の土砂の挙動を再現するには精度が不十分な計算しかできていなかった．十分な計算精度と速度を備えた開発用ツール実用化という企業ニーズの実現のために，共同研究講座第 1 期と同時期にブルドーザのブレード(排土板)設計を狙いとして講座外で個別共同研究を開始し，第 2 期では専門の研究者を共同研究講座の特任准教授として任用して講座のテーマとして集中的に研究を実施した．DEM に関する他事例での豊富な経験に基づいたモデル化手法や高速並列計算手法といった大学シーズを適用することによって，所期の目的とするブルドーザのブレード設計に有効な計算精度と速度を備えた技術の実現に至った．これは，共同研究講座という大学と企業の研究者が共有する場において，十分な計算精度と速度を両立するDEMという企業

ニーズの方向性を共有し，大学シーズを効率的に適用して高度化した上で，それを企業での実用を見据えて検証するという「橋渡し」が効率よく行われた結果である． DEM の建設・鉱山機械の設計への適用はこれを機に大きく進み，実際の設計への活用を始めている．また，さらなる高度化を目指して，第 2 期の共同研究講座のテーマとして終了して特任准教授が講座外の阪大のポストに就いたのちも，共同研究講座で築いた連携を背景に共同研究を継続している．

上記の「橋渡し」を円滑に実行していくためには，産学連携に通じた大学と企業双方の人材とその人的なネットワークが肝要である．そのために，共同研究講座を人材育成・交流の場として積極的に活用することも，設立当初から目的とされた．共同研究講座では，大学および企業の研究者が同じ場で刺激しあう環境で研究活動を行うことができるため，幅広い視野を持った多様な人材とそのネットワークを生み出すことが期待できる．

講座に所属する企業の若手研究者は，大学との連携の中で企業の中だけでは得られない経験を重ねることで，研究に対する姿勢やモチベーションに好影響があり，将来の産学連携をリードする研究者として期待される人材に育っている．企業での基盤・先端研究を担ってきた中央研究所機能が縮小している現状では，共同研究講座が企業内の研究人材育成機能の一部としても役割を果たすことが期待できる．

また，講座に所属する学生にとっては，実物の機械に触れて，企業の研究開発を担当する技術者と交流しつつ研究に従事することは，日々インターンシップを体験していると同じ教育効果をもたらすものと言える．企業とともに研究活動を行う上では，学生は理系の専門技術分野だけでなくビジネスの側面も同時に学ぶことになり，広い視野の教育効果を大学に在籍したままで得ることができる．共同研究講座に所属する企業の特任教員には学生の教育の義務は課されていないが，実質的には共同研究をともに実施していく中で教育のサポートも行ってきた．大学での研究活動と教育は不可分のためである．講座に在籍した学生が，共同研究を行う中で興味を持ち，連携先であるコマツに就職するケースも見られる．共同研究講座の修了生が，自らが学生時代に研究担当した技術の実用化を担当し，企業の立場から招聘研究員として共同研究に携わるという例もある．このように，共同研究講座は大学と企業双方の若手人材育成・交流の場として有効に機能している．

大学と企業の垣根を低くした相互人材交流の場としても期待される．共同研究講座では，企業の研究者が講座の一員として大学の中に派遣されるだけでなく，大学の研究者が企業で雇用されるという人材交流も一部で実現しており，その中で互いのニーズや仕事を進める上での考え方に相互理解が進んでいる．また，共同研究講座を核として，大学内外の他の研究者との交流も拡がっている．大学は人材の流動化が進んでいるため，講座と関係が深い研究者が他大学等に異動することも多く，それをきっかけに他の大学の中に新たなネットワークが生まれるという副次的効果も生まれている．今後，ますます産学連携を始めとするオープンイノベーションの活用が進むことが予想されており，そのためには大学と企業，さらに公的研究機関等を行き来して活躍する多様な人材の育成が欠かせない．共同研究講座はそのような多様な人材交流，育成の核となる場として重要な役割を果たすと考えられる．

コマツが実施している例では，第 3 期の共同研究講座で実施した遠隔操作テーマ(吉灘他，2015)が人的ネットワークの活用例として特徴的である．第 1,2 期の講座で扱った個々の要素技術とは異なり，本テーマは様々な要素技術をシステム化していくものであるため，研究対象が広範囲に亘っている．共同研究講座単独のリソースは現実的には限られており，遠隔操作に必要な要素技術全てを網羅することはできないため，講座がそのシステム化のための中核的な機能を果たしつつも，共同研究講座外の阪大の講座や他大学の関連分野の講座とのネットワークを結んで共同研究を行った．講座では遠隔操作での作業効率低下要因の究明やその解決のための手法の研究を行う一方で，講座外では画像認識や第三者視点画像形成，車載カメラ防振

等の共同研究を行った. これらの多様な人脈は, 共同研究講座に集った大学と企業の研究者の人的ネットワークが基になったものであり, これらのテーマの取組みによってネットワークがさらに拡大するという好循環を生んだ. このような共同研究講座に止まらない研究ネットワークの拡大も, 遠隔操作技術の進展を後押しするものとなっている.

以上で述べたように, 共同研究講座においてより高度化することが期待された産学連携の機能①②については, 講座という実体のある場を通じることによって期待に応える成果を挙げてきた. 共同研究講座で大学と企業の研究者が場を共有することで, ニーズと研究内容の方向性を常に摺り合わせながら名実ともに「共同で」研究を行える環境が整ったためである.

5.4.2 共同研究講座の開設によって新たに実現された産学連携の機能

本節では, 共同研究講座を開設したことで新たに実現することのできた③の基盤技術の維持・発展に関する機能について取り上げる.

Fig.5-2 に阪大におけるコマツの産学連携の活動推移を示しているように, 産学連携のテーマは基盤技術と先端技術の両面に亘っている. どちらも企業においてイノベーションを行っていく上で重要な両輪であるが, 基盤技術の中の一部の分野については大学での研究活動が縮小している現状があり, そもそも連携先の大学の研究者の絶対数が減少しつつあるという問題があった. その問題を解決して, 一部の縮小しつつある基盤技術分野の研究活動を大学内で維持・発展させる機能を果たすことは, 産学連携に取り組む中で顕在化してきたその大きな目的の一つとなった. しかし, 大学の既存研究室との個別共同研究で実現するには限界があった. そこで, 本格的な組織を大学内に設ける共同研究講座では, この機能を担うことが期待された.

製造業における基盤技術は, その一部は伝統的で成熟した研究分野であり, 新しい先端分野に比べて技術革新の成果が見えづらいため, 大学の中で研究を維持するのが難しくなっている. しかし, その技術に関連した事業を行う企業にとっては, 事業自体を維持・発展させるために必要不可欠な学術分野である. 現状を受けて, 産業界や大学においてその問題の重要性が指摘されている 4). 大学でこれらの分野に一定数の研究者を維持して, さらなる技術革新を目指すことや将来の製造業を支える人材を育成することは企業にとって事業を行っていく上で必要不可欠である. 共同研究講座においてこのような課題を抱えている基盤技術分野の産学連携テーマを扱っていく中で, 共同研究講座という形で集中的に研究予算と研究者を確保して企業ニーズに基づく新たな技術課題に取組むことが, これらの分野の維持・発展に効果が高いことが認識されてきた. 共同研究の中で新たに具体的な課題を解決する実績を積んできたことで, 成果が見えづらかった分野においてもその成果が産業の中で実際に役に立って価値が高いことが実証されてきたのである. これは産業界にとっても大学の伝統的な学術分野にとっても意義のあることであり, 共同研究講座制度の重要な役割と位置づけることができる.

コマツの第 1,2 期の共同研究講座では, 基盤技術を主なテーマとして扱った. Fig.5-2 に示すような溶接, 冶金・金属工学等で, いずれも建設・鉱山機械にとって欠かせない学術分野であるが, 大学においては研究活動があまり活発には行われていない状況が一部あった. そこで, 共同研究講座という形でまとまった研究予算と企業ニーズに基づく実効性の高いテーマ, それを遂行する大学の研究者の雇用環境を提供し, 企業としてなくてはならない基盤技術の継続とその分野での技術革新を実現することを目指した.

例えば第 1 期の共同研究講座で行った溶接テーマでは, 建機生産効率アップのための大電流マグ溶接方法に関する研究開発を行っている. キーとなるのは溶接電源の大容量化における制御技術であるが, それま

ではその必要性が理解されてこなかったこともあり，大容量化の取組みが長年行われてこなかった．そこで，共同研究講座では，企業サイドからニーズを持ち込むとともに，大学の研究者として共同研究講座の特任教員を任用し，大学と企業が一緒に研究開発に取組んだ．まず大電流溶接のネックとなっていた大電流域におけるアークの不安定性の原因となる溶滴移行現象を大学の最新の計測分析技術を用いて見える化・解析して，その安定化の方策を立案し，最終的に溶接電源メーカとも協力して世界初の大電流マグ溶接法の開発に成功した．技術革新が見えにくいと捉えられてきた伝統的な基盤技術においても，共同研究講座という枠組みを活用して企業ニーズと大学の先端的なシーズを結びつければ，産業に直接寄与するイノベーションが実現できることを示した事例である(足立他，2006)．このように，成果が見えにくくなっている伝統的な基盤技術も，企業サイドから持ち込まれた社会的なニーズを解決して本来持っている高い技術力が顕在化されることで，その価値が再認識されることとなる．このような繰り返しを共同研究講座のような安定した場で行うことによって，基盤技術の維持・発展に寄与することができる．

企業の既存事業に必要な基盤技術については，大学に加えて従来は企業の中央研究所もその役割を担ってきたが，企業の研究所の機能が変化してきたことで研究活動の外部化が特に求められるようになった．その状況にも関わらず，大学において一部の基盤技術が縮小しつつあったことは大きな課題であった．また，企業活動を維持するための基盤分野の一部について大学での技術者育成が機能しなくなりつつあることは，将来的な企業での技術者獲得という観点でさらに重大な問題である．共同研究講座という枠組みを提供することによって，安定した研究活動を大学で維持し，その分野の技術革新と人材育成を果たす場を生み出すことができるようになったのは，共同研究講座で得た大きな成果と言える．

5.5. 結言

本章では，組織的な産学連携の一つである共同研究講座について，その枠組みの機能と有効性を検討した．コマツが制度開設時から関わった阪大の講座での取組みを基に，主に企業サイドからその特徴と成果について論述した．

- 共同研究講座の特徴的な機能として，「①大学シーズの社会実装に向けた検証の場」「②ネットワークを活用した人材育成・交流の場」「③基盤技術を大学内で維持・発展させる場」の三つに分類できる．
- 三つの機能の分類のうち，「①大学シーズの社会実装に向けた検証の場」「②ネットワークを活用した人材育成・交流の場」は従来の共同研究でも行われてきたが，共同研究講座によってより高度化することができた．
- 「③基盤技術を大学内で維持・発展させる場」は，これまでの他の産学連携の枠組みでは十分に実施できていなかったが，共同研究講座として組織の形態を採ることで実現できることを新たに指摘した．大学と企業が共同の場で研究開発を行うことで，伝統的な分野でもイノベーションを生むことが可能になり，それを通してその分野の研究者の維持・発展や将来産業界を担う技術者の育成が行われる．

共同研究講座は，企業が自企業内だけでは実現できないイノベーションに関して，産学連携をより有効に活用する手段となりうる．それを通じてライフサイクルコスト低減のための技術開発を強化，継続することができ，顧客価値の創造に寄与することができる．

共同研究講座で得た成果をさらに活用して大学と企業双方にとってより Win-Win な関係を築いていくために，共同研究講座の発展形として協働研究所が阪大で開設されており，コマツも人的ネットワークのさらなる拡大を狙いとして 2015 年度から参画している(吉灘，2015)．共同研究講座は，制度上，研究テーマは大学と

の共同研究に限られ，研究科に属した組織であるため学内でも他の研究科とは連携できないといった課題があった．より自由度の高い制度として設計された協働研究所は企業の研究組織の一部が実質的に大学内に設置された形になっており，期間，人員，予算面等が強化されるとともに，企業の自主テーマや全学との共同研究の実施，企業の学生教育へのコミットメントを伴った本格的な参加といったより幅広い連携が可能となっている．組織的産学連携の可能性を共同研究講座よりもさらに拡大する取組みとして注目されている．

[参考文献]

足立浩隆，堅田寛治，平田好則，大電流マグ溶接の溶滴移行現象，溶接学会全国大会講演概要，Vol.79 (2006) p.112.

馬場章夫，大学の事例：阪大の産学連携活動Industry on Campusとテクノアライアンス棟を中心に，経済産業省産業構造審議会産業技術分科会研究開発小委員会第 34 回資料，(2011).

馬場章夫，奈良敬，産学連携モデル「共同研究講座制度」とその活用―Industry on Campus を目指した発展モデル―，産学連携学会第 12 回大会講演予稿集，(2014) p.119.

後藤芳一，大阪大学・共同研究講座―産学官連携「第4の潮流」に向けて，産学官連携ジャーナル，Vol.7, No.9 (2011) p.36.

岩田拓真，寺澤廣一，長谷川克也，景山和郎，産学連携共同研究の創出過程の分析―東京大学のProprius21 を事例として，研究 技術 計画，Vol.25, No.3/4 (2010) p.342.

科学技術・学術政策研究所，科学技術の状況に係る総合的意識調査(NISTEP 定点調査 2013)，科学技術・学術政策研究所，東京，(2014).

加納伸也，天野昌春，寺坂裕二，松本典久，和田達夫，個別要素法によるテラメカシミュレーション，13-19，コマツ技報，Vol.49, No.151 (2003).

経済同友会 科学技術・イノベーション委員会，民間主導型イノベーションを加速させるための 23 の方策―産学官の効果的な連携を目指して，経済同友会，(2014).

コマツ，東京大学大学院工学系研究科と「社会連携講座」設置の契約を締結，コマツニュースリリース，2007.7.20.

コマツ，コマツと東京工業大学が組織的連携協定を新たに締結，コマツニュースリリース，2015.4.7.

文部省高等教育局長・文部省大臣官房長・文部省学術国際局長通知，国立大学等の寄附講座及び寄附研究部門の実施の運用について，文部省，東京，1987.5.21.

文部科学省，新しい制度で大学と企業が対等な立場で研究を！―大阪大学発の新しい産学連携制度「共同研究講座」，第 12 回「産学官連携功労者表彰～つなげるイノベーション大賞～」文部科学大臣賞，(2014).

中村吉明，産総研の今後の研究戦略―フラウンホーファー型研究機関への脱皮，研究・技術計画学会年次学術大会講演要旨集，No.29 (2014) p.213.

奈良敬，徳増有治，馬場章夫，大阪大学「共同研究講座・協働研究所」制度がもたらす効果，研究・技術計画学会年次学術大会講演要旨集，No.29 (2014) p.1.

奈良敬，大阪大学産学連携モデル「共同研究講座制度」発足 10 年―Industry on Campus を目指したオープンイノベーションモデル―，産学連携学会第 13 回大会講演予稿集，(2015) p.48.

西尾好司, 日本の組織的な産学連携(包括連携)の現状と課題―日本の「産学連携プログラム」の発展に向けて, 富士通総研研究レポート, No.205 (2004).
社団法人日本機械工業連合会, 平成 20 年度 機械工業の基盤技術に関する研究開発動向調査―機械工業の基盤技術に関する調査専門部会報告書, 社団法人日本機械工業連合会, 東京, (2009).
岡崎英人, TAMA 協会の産学官金連携の今までとこれから, 研究 技術 計画, Vol.25, No.3/4 (2010) p.270.
大阪大学工学研究科総務課, 共同研究講座の設置について, 大阪大学プレスリリース, 大阪, 2006.4.26.
Rosenbloom, R.S. and Spencer, W.J., 中央研究所の時代の終焉―研究開発の未来, 日経 BP, 東京, (1998).
東京大学, 社会連携講座・社会連携研究部門 http://www.u-tokyo.ac.jp/res01/d04_07_j.html
吉灘裕, 中村晋也, 西澤泉, 大阪大学産学連携モデル「共同研究講座制度」発足 10 年―大阪大学・コマツみらい建機協働研究所について, 産学連携学会第 13 回大会講演予稿集, (2015) p.53.
吉灘裕, コマツの産学連携活動とコマツみらい建機協働研究所, 生産と技術, Vol.67, No.3 (2015)

第 6 章　顧客価値創造に繋がるイノベーションの産産連携による早期獲得

6.1. 緒言

サービス，ソリューションの代表事例として述べてきた KOMTRAX や無人ダンプトラック運行システムはライフサイクルコストに着目して新しい顧客価値を創造した実施例である．今後も継続的に顧客価値を創出し続ける体制を強化することが企業として重要となる．サービス,ソリューションのさらなる実現のためには，これまでの建設・鉱山ビジネスで培った機能特化型商品であるハードを核に，指数関数的に進化するICT関連技術を上手く組み合わせて，迅速な市場導入を図る必要がある．クラウドソーシングが普及し瞬時に情報が伝わる現在，スピード経営は益々重要になってきており，どの部分の開発を自企業内で実施し，どの部分をアウトソースするかの判断は，今後のビジネス戦略上極めて重要になってきている．そのような背景から，コマツは自前技術と外部技術のバランス良い活用を目指して，積極的なオープン・イノベーション活動を行っている．

オープン・イノベーションという言葉は，日本では数年前まで馴染みの薄い言葉であったが，欧米では 15 年ほど前から積極的に展開されてきた．オープン・イノベーションは，ハーバード・ビジネス・スクールのヘンリー・チェスブロウ（Henry Chesbrough）によって提唱された概念で，Fig.6-1 に示すように大きく2つの流れで構成されている．一つは外部のアイデアや技術をより積極的に活用して新製品を開発するという「アウトサイドイン」という流れ，もう一方は内部で開発された技術を外部に送り出し，他社にライセンスする「インサイドアウト」という流れである(Chesbrough，2012)．コマツは，建設・鉱山機械というビジネスドメインを軸に，機能特化型商品・サービス・ソリューションを顧客に提案し続けるという統合的な事業を行っており，それには幅広い分野の技術を必要とするため，コマツのオープン・イノベーションは「アウトサイドイン」を狙いとした活動が主体である．

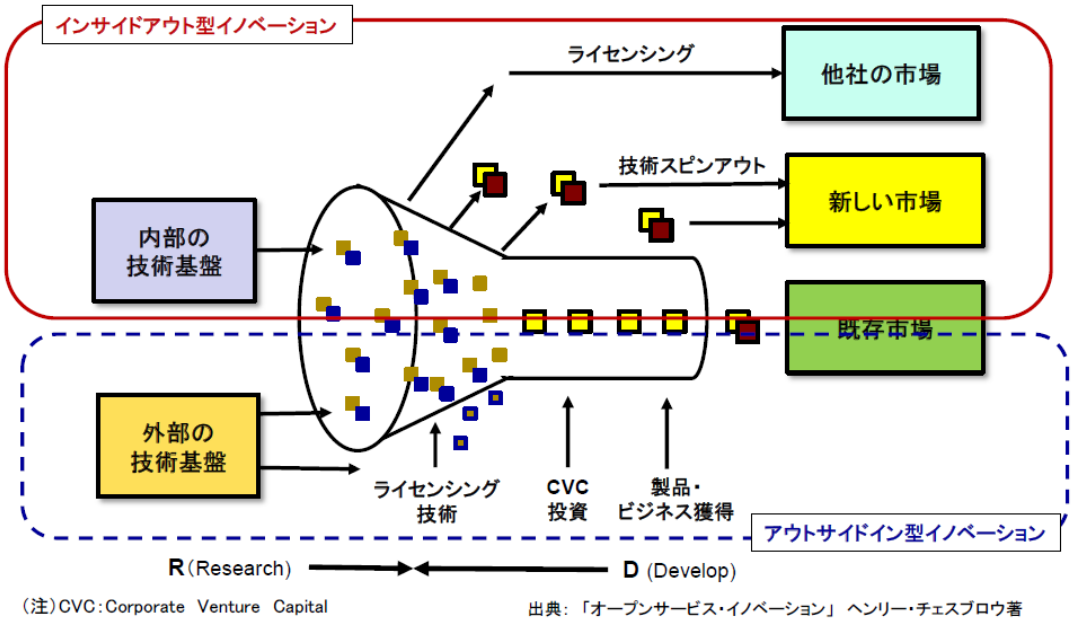

Fig. 6-1　Henry Chesbrough’s model.

コマツにおいて現在戦略的に行われている主なアウトサイドインのオープン・イノベーション活動には，第 4 章，第 5 章で述べてきた産学連携と，企業同士の連携である産産連携がある．自企業内に不足する技術を獲

得する手段として，すぐに取り入れる必要のあり，かつすでに実用化または実用間近にある新規技術は産産連携，比較的息の長い将来技術に関しては産学連携という役割分担で外部技術の獲得を行うのが，コマツにおけるオープン・イノベーションの基本方針である．本章では前者の産産連携を取り上げる．サービス，ソリューションにおいて重要な役目を果たすICT技術は，先述したように指数関数的に進化する変化の著しい分野であり，民間企業のスピード感とビジネス志向が連携先としてマッチするため，産産連携の取組みを行っていることが多い．その中でもスピード感のあるスタートアップ企業の存在感が大きくなっている．

本章では，コマツの行っている産産連携の取組み事例を基に，産産連携がライフサイクルコストに着目した顧客価値創造を効率的に実現し，多様な新規技術の迅速な獲得につながるメカニズムについて理論的な考察を行った結果について述べる．

6.2. サービス化，ソリューション化のビジネスモデルにおける将来ビジョン共有の必要性

産産連携を論じるにあたって，その前提となる将来ビジョンの共有の必要性についてこの節で述べる．

コマツはBtoBの生産財を開発する建設・鉱山機械メーカであり，BtoCと比べれば明確な顧客ニーズに対応して，高性能・高耐久性・高信頼性の製品(ハード)を中心に提供するビジネスを2000年代半ばまで進めていた．ビジネスドメインについても，建設・鉱山機械および産業機械が中心であることは長く変わっておらず，一時期は多角化を目指した時期もあったものの，2001年の構造改革によって事業の選択と集中が行われた以降はそれがさらに明確となった．そのような状況下で，顧客価値創造のための機能特化型商品というハードウェアを中心としたビジネスモデルでは，比較的明確に将来ビジョンを定めてその具現化に企業内が全体で一致して取り組むことが可能であった．必要とする技術も，自らが得意とする既存技術や限られたコアな新規獲得技術に集中しており，自前主義中心でビジネスを行うことができた．

しかし，ビジネスの軸足が，ハード中心からサービス，ソリューションへと移行するにつれて，ビジネスの将来ビジョンの選択肢が格段に増加した．そのため，数多くの選択肢から何をメニューとして顧客に提供するかは，企業の構成員の中でもこれまでの経験や考え方の違いから，思い描く将来ビジョンが異なってしまう場合が多くなった．そこで重要になったのは経営トップによる具体的な将来ビジョンの提示である．世界の先行企業の例では，シーメンスやIBMが冊子やネット上に，将来ビジョンを発表し，将来の進むべき方向性を明確に示し，企業内関係者の意識合わせを行っている．この将来ビジョン共有の重要性については，経済同友会の科学技術・イノベーション委員会の提言「民間主導型イノベーションを加速させるための23の方策（2014年2月27日）」でも示されている通りである(経済同友会，2014)．

コマツも継続的なイノベーションの創出においては，出発点となる経営トップによる「将来ビジョンの明示」を重要視している．建設・鉱山機械分野の将来ビジョンを提示するイメージビデオをコンピュータグラフィックス(CG)を使って定期的に作成し，社員間でのベクトル合わせに加え，技術連携候補選定作業にも活用している．その将来ビジョンのイメージビデオ作成には，2.5.で述べたブランドマネジメント活動による「顧客自身も自覚していないウォンツや課題の発見，顕在化」が重要な役割を果たしている．将来ビジョンの内容は，市場動向/技術動向の変化に応じて，定期的にローリングする必要がある．

6.3. 産産連携推進の考え方

将来ビジョンを社員間で共有した後は，それを具現化する段階に移る．本節では，その具現化手段の一つ

として，産産連携を推進していく上での著者の考え方を述べる．産産連携は，先にも述べたように，すぐに取り入れる必要があり，かつすでに実用化または実用間近にある新規技術の導入を目的とする位置づけである．

産産連携におけるイノベーション成功の鍵として，著者は下記５つの要素をイノベーションを実行していくチームに必要なマインドとして重視すべき項目と考えている．

①危機感

②スピード

③ネットワーク

④距離感

⑤リードカスタマとの連携

「①危機感」は，将来ビジョン必達に対して危機意識を関係者と共有できることである．それには前節で述べたような納得性の高い将来ビジョンの提示が重要である．「②スピード」は，産産連携は実用レベルにある自社外の技術を取り入れることから，スピード感を持って実行することが必須となる．技術の信頼性の高い大企業もパートナーとして有効であるが，スピード感の点では動きの速いスタートアップ企業が魅力的であり，スタートアップ企業がパートナーとしての重要な選択肢の一つとなる．「③ネットワーク」は，産産連携において必要な技術を見出す段階，パートナーシップを結んで導入を進める段階のいずれでも幅広い人的ネットワークを持つことが成功を左右することになる．いかに質の高いネットワークを築くかという点を常に意識する必要がある．そのために，例えばベンチャー・キャピタル(VC)やコンサルタント等の外部機関を活用することが有効である．「④距離感」とは，連携パートナーとの物理的な距離であり，オープン・イノベーション成功のためには，高頻度の直接対話が重要であると考えている．ビジネスモデルを変える新しい潮流を生み出すためには，お互いに心を開くことが重要であり，直接対話に勝るものは無いのがその理由である．世界中に点在する連携パートナーとの物理的な距離を縮める手段は，高頻度の出張ベースでの対話となるが，経営トップが明示する将来ビジョンとの同期を常に図る意味でも出張ベースによる Face to Face の活動は有効な手段であり，イノベーションに重要な「鮮度と感度」を高いレベルで維持することが可能となる．「⑤リードカスタマとの連携」は，顧客価値の実現には新規技術の導入段階をイノベーション志向の高いリードカスタマと一緒に取り組むことが効果的なために挙げている要素である．ブランドマネジメント活動を通じてパートナーとなりうるリードカスタマを見極めて互いに信頼関係を構築すべきである．

さらに，イノベーション創造に重要な二つめの要素として，以下のチーム構成に関する要素を考慮すべきである．

⑥多様性

⑦情報共有（市場/技術動向）

イノベーションは，持続的なイノベーションと破壊的なイノベーションという2つに分けて考えることができる(Bower and Christensen, 1995)．新たな顧客価値創造を目指すには破壊的イノベーションを目指す必要があるが，既存事業を持つ大企業からは破壊的イノベーションは生まれにくい側面があるという「イノベーションのジレンマ」(Christensen, 2001)が指摘されている．破壊的イノベーションを行って事業化を成功させる陰には，特定の起業家が関与していることが多い．また，ここ数年急速に家電，自動車，そして IT 業界間はお互いの垣根が低くなり業界同士が融合した状態に変化している．このような状況下では「⑥多様性」と「⑦情報共有（市場/技術動向）」を進めることが重要である．「⑥多様性」とは異なる立場のプレーヤーや業界とのチャンネルを維持拡大することであり，そのためには市場や技術動向に関する「⑦情報共有」を進めることである．「⑥

多様性」のあるチームは当初はまとまらないが、方向性を一致させた途端に強い力を発揮することができる．そのようなチームを形成する方策の一つとして著者が重視しているのが，③のネットワークでも述べた世界の各地域でのイノベーションエコシステム活動の源泉となっているベンチャー・キャピタル（VC）との連携である．人的ネットワークを備えた結果として，技術動向，市場動向に関する幅広い情報共有が可能となる．③⑥⑦の要素は相乗的な効果によって強化されるものである．

さらに三つめとして，市場導入の際に極めて重要となるのが，

⑧製品の市場導入のタイミング

である．先の①から⑦の要素が揃っていたとしても，市場導入のタイミングが適切でなければ意味がなくなってしまう．発明王エジソンの名前を有名にした電灯の事業化の成功も，配電システム構築による全米における電気インフラ普及のタイミングを高度に見極めたことが背景にある．いかに優れた電球を発明しても，市場の準備が整っていなければ無用の長物だったのである．適切な市場導入のタイミングを実現するには，③⑥⑦から適切なタイミングに関する情報を感度高く得るとともに，①②④⑤によってそのタイミングまでに新規技術の導入を確実に行うことが必要である．

最後に，これまでの要素全てをマネジメントしてプロジェクト全体を推進するための

⑨グローバル開発リーダ

も欠かせない要素である．グローバル開発リーダは，現場を熟知し，連携する海外業務パートナーの文化を理解，尊敬し，その多様性に対応できる人格者であること，そして課題解決に向けて論理的に業務を遂行できる人材が適する．企業はオープン・イノベーション活動を推進するにあたり，プロジェクトを推進するリーダ人材の育成も行っていく必要がある．

以上の産産連携における重要な要素①から⑨をFig.6-2にまとめる．いずれの要素も産産連携によってイノベーションを実現するには基本的に必須な要素であり，企業としては条件を揃えるために最大限の取組みをする必要がある．

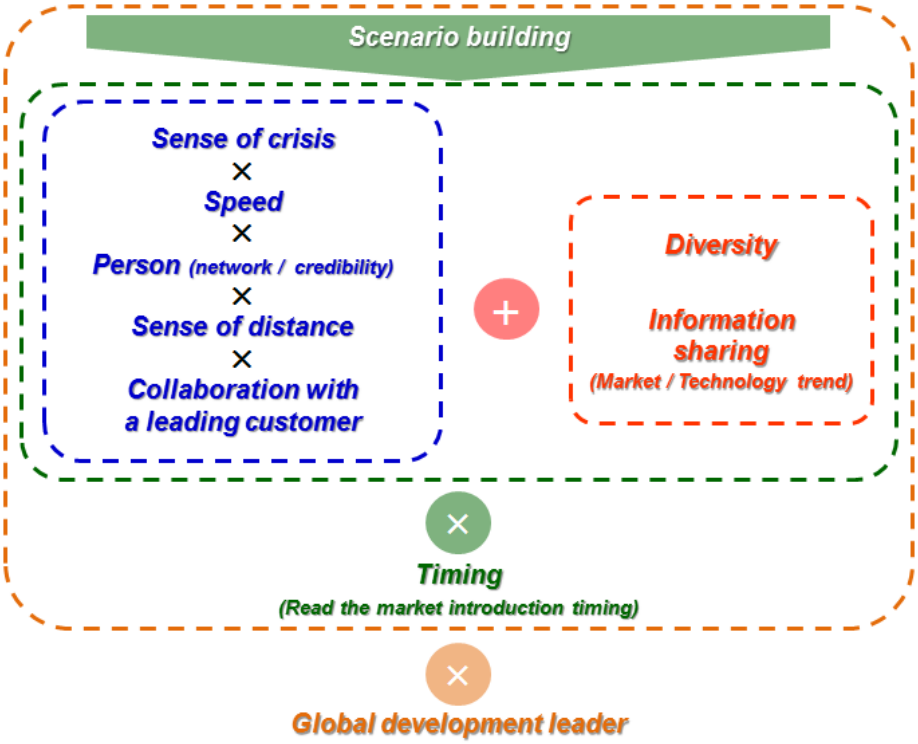

Fig.6-2 Key to succeeding with “Innovation”.

6.4. 産産連携の実施例

産産連携においては，自企業と協業パートナーのビジネスにおける Win-Win を前提にした信頼関係構築が重要であり，双方のトップダウンで関係を築くのが効果的である．Win-Win を実現するためには技術の応用・組合せだけでは不十分であり，双方の強みの相乗効果が生まれるような連携とすることがキーとなる．連携先の見極めには極めて高度な目利き能力が必要である．コマツは，建設・鉱山機械メーカの特徴を活かしてハード＋ICT 技術で新たな顧客価値を生み出す協業を行う方針を採っている．以下に，コマツの産産連携の代表的な事例である「無人ダンプトラック運行システム」と「情報化施工建機およびそれを活用したソリューション」を示す．後者は 2015 年 2 月から市場への試験的な提供を開始した新しいソリューションであり，現在も市場での検証に基づいた模索を続けている段階であるため，以下の事例紹介では簡単に触れることとする．

6.4.1 無人ダンプトラック運行システム

第 2 章，第 3 章でも述べたように，無人ダンプトラック運行システムは長年研究を行ってきた自前技術と外部技術の連携によって完成した．その開発の履歴を Fig.6-3 に示す．ダンプトラック単独の無人走行や制御技術に関しては 1970 年代から自企業内での要素研究を行ってきたが，本格的にシステムの研究開発を開始したのは 1990 年である．初期の要素研究から本格的な開発，実用化・商用化の全ての期間において，一貫して同じプロジェクトリーダが全体統括を行っている．

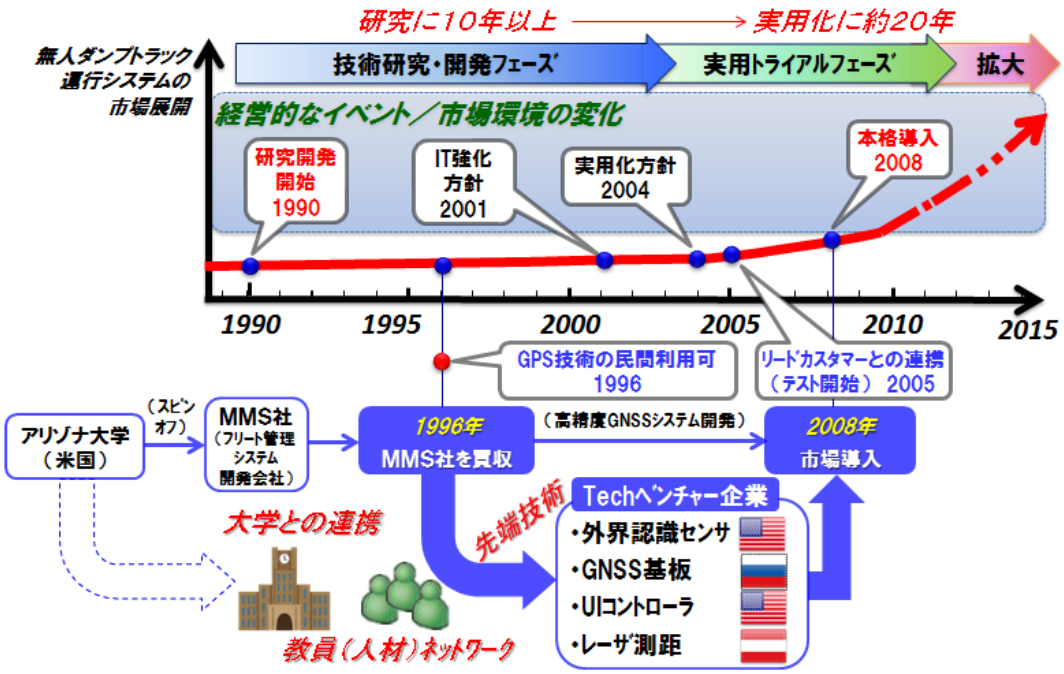

Fig.6-3　History of autonomous haulage system development.

鉱山用ダンプトラックの無人化は長年資源メジャーが要望してきたことであった．第 2 章，第 3 章でも取り上げたように，僻地にある鉱山では人件費高騰や労働者不足，有人であることに起因する事故発生が大きな問題となっており，その根本解決である無人化が希求されてきた．年々高くなる問題意識と技術レベルの向上によって無人ダンプトラック運行システム実現に向けての機運が高まっていた．

実用化に向けてのターニングポイントになったのは，1996 年に実施したモジュラー・マイニング・システムズ（MMS）社の買収である．MMS 社は鉱山インフラのプロバイダとして，当時圧倒的なシェアを確保しており，コマツは MMS 社の買収を通じて世界中の主要鉱山の通信インフラ環境を手に入れると共に，鉱山管理システム等の IoT ソリューションの要素技術を確保することができた．1996 年は GPS 技術が民間に解放された年でもあり，MMS 社と共に高精度 GNSS システムの開発を進め，無人ダンプトラック位置制御システムを確立した．

買収を通じた別の大きな技術的メリットとしては，アリゾナ大学のスピンオフスタートアップ企業である MMS 社を通じて，アリゾナ大学及び，豪州の大学との密な研究者（人材）ネットワークを構築することができたことである．無人ダンプトラック制御のためには，高度な車両制御用の各種センサが必要であり，人材ネットワークを通じて，当時必要な最先端のセンサ/コントローラ技術に関し，米国，ロシア，豪州等の世界各地のスタートアップ企業と連携することで導入し，開発を行うことができた．

また商用化成功の視点で言えば，2005 年から顧客である大手資源メジャーと連携しテストを進められた事実が大きい．特に鉱山ビジネスにおいては，ビジネスモデルを変えることによる初期投資リスクが高いことから，保守的な顧客が多い．この業界で新規のビジネスモデルを浸透させるためには，成功事例を示すことが重要であり，その意味でもリードカスタマと連携し，フィージビリティスタディを成功させることが商用化に向けた第一歩であり，2008 年からの無人ダンプトラック運行システム本格導入の足掛かりとなった．プロジェクトリーダは，リードカスタマ所有の鉱山に駐在して実用テストの陣頭指揮をとった．プロジェクトリーダを核とする開発チームとリードカスタマの密なコミュニケーションによって，無人ダンプトラック運行システムの実現に至った．その後，

他の大手資源メジャーも含めた複数の鉱山における導入が拡がっている.

6.4.2 情報化施工建機およびそれを活用したソリューション

建設・鉱山ビジネス業界全世界共通の課題である「安全性向上」,「熟練労働者不足」を解決する手段の一つと考えられているのが「情報化施工建機」による施工である. 建設・鉱山機械メーカ各社で活発に開発が進められてきたが, 世界初のマシンコントロール機能を備えた情報化施工建機として, コマツは 2013 年にブルドーザ, そして 2014 年に油圧ショベルを市場導入した. マシンコントロールとは, 三次元化された施工図面に基づいて建機の作業機の刃先を自動制御する機能である. 具体的には, 一定の座標を保ったり, 図面で規定された施工面を超えないように制御したりすることができる. 情報化施工のための先進技術として高精度な位置制御技術が必須であり, この技術確立において ICT 計測機器メーカを核とする日本, 米国, イタリア, ロシア, 豪州各地の様々なスタートアップ企業をはじめとする各企業・機関の多国籍な研究員同士が密接に連携し, 技術の合わせ込みを行った. 情報化施工建機の開発にあたってはブルドーザと油圧ショベルの双方を同じプロジェクトリーダが統括して推進した.

さらに, この情報化施工建機を活用したソリューションである「スマートコンストラクション」を 2015 年 2 月から提供を始めている. 一般土木分野におけるソリューションの最新の事例であり, 工事現場のあらゆるもの(機械/人/土等)をクラウドを通じて有機的に「つなぎ」, 最適管理することを目的としたものである. ソリューションのキーであった工事の全貌を把握する大前提となる現況地形計測の技術においては, 米国シリコンバレーの UAV スタートアップ企業と連携したことで, 迅速に高精度な現況地形三次元データ化システムを構築し, 顧客にソリューションを提供することが可能となった. この連携においてはベンチャー・キャピタルを核にしたネットワークが大きな役割を果たし, 迅速な技術導入を実現した. また, このソリューション提案においては, 建機レンタル事業を通じてリードカスタマと連携して実際の施工経験を積み, 検証・改良を繰り返して機能向上を図ってきた. 市場投入当初は必ずしも完成されたシステムではなかったが, 実地での経験を素早くフィードバックして顧客の信頼を得ることで, 施工実績を伸ばしている. ハードである情報化施工建機においては, 信頼性を確保するための慎重な作りこみが行われたが, ソリューションは当初は完成度が充分ではなくても実用テストに投入して改良を繰り返し行うことで機能を高めることが有効であるため, それぞれ異なる開発方針で取り組みを行っている. このソリューション提案におけるリードカスタマとの連携では, 建機レンタル事業においてプロジェクトを牽引してソリューションを形作ったリーダが存在する.

本ソリューションは, 試験的な市場投入から一年が経過したばかりの進行中のプロジェクトであるため, 現時点では未完成である. 今後の市場や技術の状況に応じて大きく変化する可能性が見込まれる.

この 2 つの事例の中の産産連携においては, 6.3 で述べた産産連携における重要な要素である①将来ビジョン達成のための危機感の共有, ②スピード感, ③幅広いネットワーク, ④パートナーとの密接な距離感, ⑤リードカスタマとの連携, ⑥多様性のあるパートナーとの出会いにつながる⑦情報共有(市場/技術動向), ⑧市場導入見極めのタイミング, ソリューションとなる新規プロジェクトを牽引する⑨グローバル開発リーダ人材をいずれも揃えることができており, それがそれぞれのソリューションの実現に至った主な成功要因と考えている. 事例中の各要素を Table 6-1 にまとめて示した.

Table 6-1 Summary of key to succeeding with “Innovation” in two real examples.

	無人ダンプトラック運行システム	情報化施工建機および それを活用したソリューション
①危機感	労働者不足と安全意識の高まりによるマイニングユーザ(資源メジャー)の無人化要求	労働者不足問題および安全意識の高まり
②スピード	米国，ロシア，豪州等のスタートアップ企業との協業による迅速な最先端センサ/コントローラ技術の導入	日本，イタリア，ロシア，豪州等のスタートアップ企業やシリコンバレーのベンチャー・キャピタルとの協業による迅速な必要技術の導入
③ネットワーク	アリゾナ大学スピンオフの MMS 社を通じたスタートアップ等との連携	ICT 計測機器メーカを核とする日本，イタリア，ロシア，豪州等のスタートアップ企業との協業 シリコンバレーのベンチャー・キャピタルへの出資
④距離感	プロジェクトリーダ(リードカスタマの現場に駐在)による密なコミュニケーション	プロジェクトリーダによる出張ベースの密なコミュニケーション
⑤リードカスタマとの連携	大手資源メジャーのリードカスタマと組んだ実用テストを実施	国内の土木建設業者であるリードカスタマと組んだ実用テストによってオンサイトで検証・改良
⑥多様性	大学，スタートアップ企業，大手資源メジャー等の多国籍チーム	ベンチャー・キャピタル，スタートアップ企業，土木建設会社等の多国籍チーム
⑦情報共有(市場/技術動向)	アリゾナ大学スピンオフの MMS 社を通じたアリゾナ大学や豪州大学との研究者ネットワーク，リードカスタマによる情報共有	出資したベンチャー・キャピタルやリードカスタマを通じたネットワークを活用した情報共有
⑧製品の市場導入のタイミング	GPS 技術の民間開放(1996) 資源ブームによる鉱山の僻地化，労働者不足・人件費高騰(2004～)	熟練労働者不足の社会問題化や安全意識の高まり クラウドコンピューティングの発達
⑨グローバル開発リーダ人材	初期の要素研究から一貫したプロジェクトリーダが全体統括	ハード(情報化施工建機開発部門)、ソリューション(建機レンタル事業部門)、ベンチャー・キャピタル協業(オープン・イノベーション担当部門)それぞれのプロジェクトリーダが連携

Table 6-1 に挙げたイノベーション成功の鍵となる要素の中で，特にコマツの取組みにおける特徴として，①将来ビジョン達成のための危機感の共有および②スピード感，④パートナーとの密接な距離感，⑤リードカスタマとの連携がある．コマツは BtoB の建設鉱山機械を主とする製造業であり，ビジネス分野が限定されることから，将来ビジョンおよびそれに対する危機感が非常に明確である．扱っている建設鉱山機械は，マイニング，一般土木，都市土木の 3 分野に分けて整理することで，それぞれに具体的な将来ビジョン(Fig.6-4)を描くことが可能であり，必要かつ自社内に不足する要素技術をリストアップすることで，分野を特定してパートナーを探すことになる．スタートアップ等とパートナーシップを組む上では，漠然とした目標を持つよりもこのように目標が明確であることが大きな強みであり，スピード感を持ってパートナーを見つけることに繋がっている．

Fig.6-4 Future vision of construction and mining machineries in three fields.

また，同様に BtoB の業種であるため，顧客のねらいやそのビジネスの現場が明確という特徴があり，顧客とベクトルを一致させやすい．そのため，リードカスタマと強力に連携して実地テストを実行することも可能になり，この関係においても強力なパートナーシップを結びやすい．リードカスタマの現場にプロジェクトリーダを始めとする人材を駐在させて，Face to Face でスピード感と密接な距離感を持って実地テストを実行することを意識的に行っている．

以上のような特徴ある観点でイノベーションを推進できるのが BtoB である建設鉱山機械の業種の強みであり，コマツの取組みではその強みを活かした産産連携によるイノベーションをいち早く行っている．

6.5. オープン・イノベーションの今後の方向性

日本におけるオープン・イノベーション活動は，欧米諸国に比べ周回遅れにはなっているが，近年，経済産

業省が中心となってオープン・イノベーション活動を積極的に推進しており，産学官全体で非常に交流し易い環境が整ってきている．また経済面でも，例えば大規模インフラ投資という観点では，リニア中央新幹線が2014 年 12 月に 9 兆円規模での着工を開始し，2020 年の東京オリンピックに向けての関連施設の整備や，40 年ぶりとなる山手線の新駅誕生等が経済を下支えする効果があると見込まれる．首都高中央環状線の全線開通，北陸新幹線，上野東京ラインの開業，そして2016 年 3 月の北海道新幹線開業とそれぞれがプラスの経済効果を期待できる．このような背景を受けて，昨今では官民をあげて様々な形態のマッチングイベントが開催されており，日本におけるオープン・イノベーションの流れは今後ますます加速していくものと考えられる．

一方，技術動向の観点では，CES(Consumer Electronics Show)やシリコンバレーのイベントでもこれまでのICT が前面に出ていた時代から「IoT」というフェーズに移行している．特にドイツ中心の「Industrie4.0」，米国中心の「Industrial Internet」は，全世界を巻き込んだIoT 化の中心的な活動であり，ものづくりに強みを持つ日本にとっては追い風の状況である．そして「もの×ICT」という世界ではこれまで以上に業界間/市場間の壁を意識しない開発を進める必要が出てくるため，日本においては業界間の慣習や行政間の壁を打破した「新しい連携の形」を早期に確立する必要がある．そのような意味で，これからは，明確な目的意識を持ってハード・ソフト・サービスのビジネス全体を融合したビジネスイノベーションを創出し，いかに顧客価値を高める商品を提供できるかが重要な課題となる．オープン・イノベーションで異業種のパートナーと連携することが，その実現手段としてますます重要性を増している．

製造業においては，商品開発の最上流となる研究・開発段階から，生産プロセス，そしてサービス・ソリューション提供，部品再生事業(リマニュファクチャリング)に至るまで全てのバリューチェーンを改めて見直し，その中の様々な局面で新たなイノベーションを生み出せる体制を構築することが，不確実性を増す世界に対応していくためにますます重要となる．

そのためには，開発・生産を始めとするバリューチェーン全体の最適化戦略を立案して進むべき将来ビジョンを共有する必要がある．具体的にはクローズするコア技術（自前主義）の範囲と，オープン化し外部と連携して機能を作り上げ，進化・充実を図っていくオープン・イノベーションをどう配置し作り上げていくかを，自社内で共有することである．このような将来ビジョンは，自社内の既存技術に関して，外部と連携したイノベーションを起こすために特に重要であると考えている．今後ますます多様な技術分野が融合したサービス・ソリューションが必要とされ，より広範囲なオープン・イノベーションが必須となってくる状況下において，新たな顧客価値を生み出していく上で将来ビジョンの共有は一層重要となる．

6.6. 結言

本章では，ライフサイクルコストに着目した顧客価値創造のためのビジネスモデルを実現する手段であるオープン・イノベーションの一つとしてコマツの産産連携の取組み事例を通じて，顧客価値創造を効率化するためのマネジメントについて分析するとともに，オープン・イノベーションを進める上での考え方を示した．以下に本章の論点をまとめる．

- オープン・イノベーションにおいては，すぐに取り入れる必要のある新規技術は産産連携，比較的息の長い将来技術に関しては産学連携という役割分担で行うと効率がよい．
- 産産連携を中心としたオープン・イノベーションにおいて重要な要素は，危機感，スピード，ネットワーク，距離感，リードカスタマとの連携，多様性，情報共有，市場導入タイミング，そしてグローバル開発リーダ人材の存在である．

・バリューチェーン全体を見直して明確な将来ビジョンを自社内で共有することで，自前技術と外部技術の活用を最適化する戦略が重要である．これは特に既存技術に外部技術を導入する際の鍵となる．

[参考文献]

Bower, J. L. and Christensen, C. M., Disruptive Technologies: Catching the Wave, Harvard Business Review, January–February (1995).

Christensen, C. M.，イノベーションのジレンマ―技術革新が巨大企業を滅ぼすとき，Harvard business school press, (2001).

ヘンリー・チェスブロウ，オープン・サービス・イノベーション―生活者視点から，成長と競争力のあるビジネスを創造する，CCC メディアハウス，(2012).

経済同友会科学技術・イノベーション委員会，民間主導型イノベーションを加速させるための 23 の方策―産学官の効果的な連携を目指して，経済同友会，(2014).

第 7 章　結論

本論文では，製造分野の中から建機分野に焦点を絞り，建機特有の使用条件や業態，商流等の特徴を踏まえた上で，顧客価値を創造するためのしくみに関してライフサイクルコスト(LCC)の視点からの論述を行った．具体的には，いち早く製品の価値を製品そのものから製品が提供するサービスやソリューションへと転換し業界をリードしているコマツの事例を取り上げ，建機の運用における LCC の低減とそれを実現するための産学連携を中心にしたオープン・イノベーションという 2 つの論点から分析を行い，同社が建機分野において顧客価値創造のしくみに関してイノベーションを実現できた要因を実証的に明らかにすることを試みた．

第 1 章では本論文における研究の目的と背景について述べるとともに本論文の構成を示した．

第 2 章では，建設・鉱山機械というBtoBのモノづくり企業において，モノづくりの強みである競争力のある商品(モノ)をベースに，さらにバリューチェーンの下流であるサービス・ソリューションにも領域を拡げて顧客価値を創造するビジネスモデルの実例を通じて，イノベーションによる新しい価値創造について論じた．以下にその論点をまとめる．

・モノづくり企業においては第 0 領域の機能特化型商品をベースに，第 1 領域：サービス，第 2 領域：ソリューションという 2 領域で顧客価値を創造するビジネスモデルが有効である．コマツで実行されている事例に基づいて，その有効性を検証した．
・上記のビジネスモデルの実現には①顧客の見えないウォンツや課題の発見，②解決のための技術確立が重要ポイントであり，この観点で上記モデルを成功させた．その実現には①にはブランドマネジメントとビッグデータ活用，②にはオープン・イノベーションやキー技術による差別化が有効である．

顧客のビジネスの一部にメーカが関与するビジネスモデルが成立すると，そこからさらなる顧客価値創造の機会が生まれる好循環がその先に期待できる．

第 3 章では，建設・鉱山機械を対象として，顧客の LCC を低減して顧客価値を高める手法について論じた．建設・鉱山機械のような生産財においては，顧客が支出したコストに対してどれだけの便益を得られるかが顧客価値につながる．そのため LCC 低減が顧客価値を高める上で重要な要素となる．

LCC 低減のためには，その中身をライフサイクル全体で把握して適切な対応を取る必要があるが，建設・鉱山機械の LCC の構成要素の中には不確実要素が多く含まれており，その定量的な把握が困難である．このことが LCC を効果的に低減するための適切な対策を取る際の障害となっていた．

このような不確実要素に対する対応策として，不確実要素を

・データに基づいた予測が有効なもの（Fig.3-2 の C）
・データに基づいた予測が困難なもの（Fig.3-2 の D）

の 2 種類に分類し，それぞれの要素に対し，

・稼動データの定量的計測による使われ方の見える化(Fig.3-3 の方策①)
・状態監視保全する対策（Fig.3-2 の方策②）
・根本原因の除去（Fig.3-2 の方策③）

という対応策を取ることが有効であることを示した．これらの対策を取ることで，LCC に含まれる不確実要素

を減らしてその見積精度を向上させることができ，適切なLCC低減策を講ずることが可能となる．

本論文では事例として紹介するにいたらなかったが，上記三つの対応策を同時に適用することで，LCC 低減をさらに推し進めることができる．たとえば最後に紹介したダンプトラックの無人運行システムの事例では，無人化による根本原因の除去についてのみ議論した．これにテレマティクスサービスを用いた稼動データの定量的計測による使われ方の見える化や，それに基づいて不確実要素を顧客が許容できる範囲のばらつきに抑える対策を加えれば，さらなるLCC低減につなげることができる．

また第3章では建設・鉱山機械を例にとって不確実要素の低減について議論したが，この考え方はそれ以外の分野にも同様に展開できる可能性がある．顧客価値がLCCと明瞭に結びつくことが多いBtoBの分野では特に有効である．

第3章で示したLCC中の不確実要素に対する三つの対応策を採用することにより，LCCに含まれる不確実要素を減らすことができる．それによって，顧客によるLCCの見積精度向上と適切なLCC低減策の採用を可能として，顧客価値の創造に寄与することができる．

第4章では，産学連携でイノベーションを行うための新たな枠組みとしての技術循環モデルと，それに基づいて効果的に産学連携を企画・実行するためのマネジメント手法について提案した．以下に本章の論点をまとめる．

- 企業にとってのイノベーションを大学と共に行うための産学連携のマネジメントの枠組みとして，従来のモデルを改良した技術循環モデルを提案した．建機のような既存の事業ドメイン中でのイノベーションに関する産学連携では，このモデルの視点が有効である．
- 9時→12時の領域Ⅳ(従来技術の見える化：現象解明)における産学連携の有効性を新たに示した．従来技術の課題に対する明確な企業ニーズに沿った共同研究を行いやすいテーマであり，成功の可能性が高くなる．
- 従来の産学連携に多い3時→6時の領域Ⅱ(新規技術の導入)では，大学シーズと企業ニーズのマッチングと，それを見極める目利き能力，大学・企業双方の研究担当者の強い協力体制が揃うことで成功確率を上げることができる．

第5章では，組織的な産学連携の一つである共同研究講座について，その枠組みの機能と有効性を検討した．コマツが制度開設時から関わった阪大の講座での取組みを基に，主に企業サイドからその特徴と成果について論述した．共同研究講座は，企業が自企業内だけでは実現できないイノベーションに関して，産学連携をより有効に活用する手段となりうる．

- 共同研究講座の特徴的な機能として，「①大学シーズの産業実装に向けた検証の場」「②ネットワークを活用した人材育成・交流の場」「③基盤技術を大学内で維持・発展させる場」の三つに分類できる．
- 三つの機能の分類のうち，「①大学シーズの産業実装に向けた検証の場」「②ネットワークを活用した人材育成・交流の場」は従来の共同研究でも行われてきたが，共同研究講座によってより高度化することができた．
- 「③基盤技術を大学内で維持・発展させる場」は，これまでの他の産学連携の枠組みでは十分に実施できていなかったが，共同研究講座として組織の形態を採ることで実現できることを新たに指摘した．大学と企業が共同の場で研究開発を行うことで，伝統的な分野でもイノベーションを生むことが可能になり，それを

通してその分野の研究者の維持・発展や将来産業界を担う技術者の育成が行われる.

共同研究講座で得た成果をさらに活用して大学と企業双方にとってより Win-Win な関係を築いていくために, 共同研究講座の発展形として協働研究所が阪大で開設されており, コマツも人的ネットワークのさらなる拡大を狙いとして2015年度から参画している. (阪大, 2016-2) 共同研究講座は, 制度上, 研究テーマは大学との共同研究に限られ, 研究科に属した組織であるため学内でも他の研究科とは連携できないといった課題があった. より自由度の高い制度として設計された協働研究所は企業の研究組織の一部が実質的に大学内に設置された形になっており, 期間, 人員, 予算面等が強化されるとともに, 企業の自主テーマや全学との共同研究の実施, 企業の学生教育へのコミットメントを伴った本格的な参加といったより幅広い連携が可能となっている. 組織的産学連携の可能性を共同研究講座よりもさらに拡大する取組みとして注目されている.

第 6 章では, 顧客価値創造のためのビジネスモデルを実現する手段であるオープン・イノベーションの一つとして産産連携を取り上げ, コマツの取組み事例を通じて顧客価値創造を効率化するためのマネジメントについて分析するとともに, オープン・イノベーションを進める上での考え方を示した. 以下に本章の論点をまとめる.

- ・オープン・イノベーションにおいては, すぐに取り入れる必要のある新規技術は産産連携, 比較的息の長い将来技術に関しては産学連携という役割分担で行うと効率がよい.
- ・産産連携を中心としたオープン・イノベーションにおいて重要な要素は, 危機感, スピード, ネットワーク, 距離感, リードカスタマとの連携, 多様性, 情報共有, 市場導入タイミング, そしてグローバル開発リーダ人材の存在である.
- ・バリューチェーン全体を見直して明確な将来ビジョンを自社内で共有することで, 自前技術と外部技術の活用を最適化する戦略が重要である. これは特に既存技術に外部技術を導入する際の鍵となる.

第 7 章では本論文を総括した.

本論文では, コマツの事例の分析から, 建機分野の顧客価値創造のためのビジネスモデルはモノからサービス, ソリューションへと変換して顧客価値を創造していくことが重要であり, またそれを実現するための顧客課題の把握やオープン・イノベーション等による技術獲得が有効であることを示した. ここで展開した議論は, 建機分野を対象に, コマツの CTO (Chief Technology Officer) として技術戦略立案に深くかかわってきた立場から検討を行ったものであるが, 一連の LCC に着目した顧客価値創造に向けた考え方やその実現方法は分野に応じてカスタマイズすることで他の製造分野へも適用が可能であり, 特に顧客の現場に多くの隠れた課題が残されている産業界に有用な知見になると期待される.

【原著論文リスト】

髙村藤寿, 太田順子, 西澤泉：現場志向に基づいた顧客価値創造のためのビジネスモデル, 日本機械学会論文集, 82, 835 (2016), DOI: 10.1299/transjsme. 15-00360.

髙村藤寿, 太田順子, 西澤泉：建設・鉱山機械におけるライフサイクルコスト低減方策による顧客価値創造, 精密工学会誌, Vol.82, No.4 (2016) p.390.

髙村藤寿, 太田順子, 尾崎光則, 西澤泉：大学の見える化技術を活用した産学連携の技術循環モデルとその実践, 日本機械学会論文集, 82, 842 (2016), DOI: 10.1299/transjsme. 16-00070.

髙村藤寿, 太田順子, 西澤泉, 吉灘裕：共同研究講座を通じた産学連携の高度化―産業界から見たその特徴と成果―, 産学連携学, Vol.13, No.1 (2016) p.83.

【講演リスト】

髙村藤寿：建設機械における新技術の展望, 日本機械学会 2012 年度年次大会, 2012.9.11, 石川

髙村藤寿：コマツのものづくりと顧客価値創造, ものこと双発学会・ものこと双発協議会設立記念シンポジウム, 2014.9.24, 東京

髙村藤寿：コマツの成長戦略とオープン・イノベーションへの取り組み, 日本能率協会 KAIKA マネジメントシンポジウム, 2015.3.5, 東京

髙村藤寿：現場志向に基づいた顧客価値創造, 近畿経済産業局緊急フォーラム「IoT 時代の未来志向のビジネスモデル」～モノ作りとサービスの融合の時代へ～, 2016.5.30, 大阪

髙村藤寿：顧客価値創造のための技術戦略, 第2回先進的産学官連携シンポジウム(第9回大阪学共同研究講座シンポジウム), 2016.11.7, 東京

その他の業績リスト

【論文・講演】

藤崎博也, 髙村藤寿, 佐藤泰雄:特徴量の不均一標本化と単語音声認識への応用, 音響学会音声研究会資料, S77-12 (1977) p.1

Fujitoshi Takamura : Robot Motion Planning, Brown University Master Thesis (1984)

髙村藤寿, 西澤泉:建設機械の稼働状況見える化を通じた顧客価値の創造, システム制御情報学会誌, Vol.62, No.8 (2018) (掲載予定)

【表彰】

第 19 回 精密工学会 髙城賞 (2016 年度)
(表彰対象論文:建設・鉱山機械におけるライフサイクルコスト低減方策による顧客価値創造, 精密工学会誌, Vol.82, No.4 (2016) p.390)

【特許】

JP 1987263 1995/11/8 油圧掘削機の自動振動方法及び自動振動装置
JP 2069233 1996/7/10 油圧パワーシヨベルのサービス弁回路
JP 2071214 1996/7/10 油圧掘削機の自動振動方法
JP 2080373 1996/8/9 建設機械の作業自動化方法及び装置
JP 2080378 1996/8/9 建設機械の作業機制御方法
JP 2109270 1996/11/21 ブームシリンダの制御回路
JP 2509311 1996/4/16 建設機械の作業機制御方法
JP 2525233 1996/5/31 作業機のテイーチング・プレイバツク方法
JP 2582286 1996/11/21 建設機械の作業自動化方法及び装置
JP 2583127 1996/11/21 油圧式掘削機の走行・作業機操作装置
JP 2601705 1997/1/29 油圧シヨベルの油圧回路
JP 2726997 1997/12/12 建設機械の作業自動化方法及びその装置
JP 2733530 1998/1/9 建設機械の走行制御装置
JP 2757009 1998/3/13 建設機械の微操作制御方法

JP 2847649 1998/11/6 操作レバーの制御方法
JP 3064520 2000/5/12 油圧掘削機における作業油量切換制御装置
JP 3064574 2000/5/12 油圧掘削機における作業油量切換制御装置
JP 3171479 2001/3/23 油圧駆動装置のモジュレーション制御方法およびその装置
JP 3175992 2001/4/6 油圧駆動機械の制御装置
JP 3305801 2002/5/10 油圧駆動機械の制御装置
JP 3330340 2002/7/19 油圧駆動機械の制御装置
JP 3380881 2002/12/20 油圧式掘削機のエンジン・油圧制御装置
JP 3444503 2003/6/27 油圧駆動機械の制御装置
JP 3468470 2003/9/5 エンジンのオートデセル制御装置
JP 3575560 2004/7/16 可変容量ポンプの制御装置およびその制御方法
JP 3655910 2005/3/11 油圧駆動機械の制御装置
JP 3763375 2006/1/27 建設機械の制御回路
JP 3765317 2006/2/3 油圧駆動機械の制御装置
JP 3925666 2007/3/9 エンジンおよび可変容量型ポンプの制御装置
US 5274557 1993/12/28 Teaching and playback method for work machine
US 5287699 1994/2/22 Automatic vibration method and device for hydraulic drilling machine
US 5359517 1994/10/25 Method and device for automating operation of construction machine
US 5365737 1994/11/22 Hydraulically-operated equipment for construction machinery
US 5469646 1995/11/28 Fine operation mode changeover device for hydraulic excavator
US 5481875 1996/1/9 Apparatus for changing and controlling volume of hydraulic oil in hydraulic excavator
US 5520087 1996/5/28 Control device for hydraulically operated machine
US 5630317 1997/5/20 Controller for hydraulic drive machine
US 6006521 1999/12/28 Control circuit for heavy machinery
US 6010309 2000/1/4 Control device for variable capacity pump
US 6161522 2000/12/19 Controller of engine and variable capacity pump

【謝辞】

本研究を進めるにあたってご指導いただくとともに，大学の立場からの産学連携の考え方について多くの知見，助言をいただきました福井工業大学教授／大阪大学名誉教授の片岡勲先生に深く感謝いたします．

主査としてご指導いただいた大須賀公一先生を始め，副査の田中敏嗣先生，藤田喜久雄先生，小林英樹先生には多くの有益なご指摘，ご助言をいただきましたことに感謝申し上げます．

共同研究者である太田順子氏，西澤泉氏，尾崎光則氏，吉灘裕氏とは，ともに議論を深めて本研究をこのように形にすることができましたことに謝意を表します．

コマツの経営陣にはコマツの技術経営について学術論文としてまとめることをご快諾いただくとともにご支援いただきました．誠にありがとうございました．

本研究ではコマツグループ関係者に社内外のデータや事例提供で多くの労をとっていただきました．大変お世話になりまして御礼申し上げます．

産学連携をともに実施している各大学の関係者，特に大阪大学の関係者の皆様には，各テーマや組織的連携，共同研究講座および協働研究所等様々な形でお世話になりまして感謝申し上げます．また，コマツ社内で産学連携のテーマ担当やコーディネータとして関わった皆様の尽力にも謝意を表します。事例として取り上げている各テーマ等の記述内容は皆様からご提供いただいたデータに基づいていますが，あくまで著者によるマネジメントの側面からの解釈です．各事例の学術的詳細は直接皆様の文献を参照いただけるように引用していますのでご容赦ください．

大阪大学大学院工学研究科の社会連携室の方々には産学連携で長年お世話になるとともに，本研究においても資料提供や大学での研究打合せの際にご協力いただきました．誠にありがとうございました．

2018 年 1 月 10 日

髙村 藤寿