The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	設計プロセスとプロジェクト型設計教育の展開
Author(s)	藤田, 喜久雄
Citation	設計工学. 2005, 40(11), p. 543-549
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3094
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

日本設計工学会誌「設計工学」, Vol. 40, No. 11, (2005-11), 特集「PBL によるものづくり教育」掲載・解説

設計プロセスとプロジェクト型設計教育の展開*

Design Process and Project-Based Design Education

藤田　喜久雄†
(Kikuo FUJITA)

1　はじめに

設計は工学を特徴付ける重要な内容の一つであり，その教育においてもその中核を成してきたが，創成教育への要請を受けるなどして，工学教育もしくは設計教育についての新しい動きが様々にみられるようになってきている．例えば，機械工学では，設計計算と図面作成から構成される設計製図教育が設計教育の中核に位置してきたが，上記の動向のもと，新しい試みが様々にみられるようになっている[1)~4)]．創成教育の導入については，欧米，特に米国における Project-Based Learning (PBL) の影響が大きい．現状を踏まえて今後の深化を展望するためには，欧米での経緯や背景を含め，創成教育に潜む意味やそのもとでの設計教育のあり方を改めて整理しておく必要があるように思われる．

本稿では，欧米での工学教育への PBL の導入が進んだ 1990 年前後における設計工学の変化の内容[5)]を振り返りつつ，彼らが PBL の導入に当たり意図していることや，そのもとでの設計教育の形態について考えてみたい．あわせて，それらの事項を踏まえつつ，大阪大学工学部応用理工学科機械工学科目・大学院工学研究科機械工学専攻で導入を進めている授業の概要を紹介することにする．

2　設計プロセスと広がる設計の意味

設計とは何らかの決定を行うプロセスであり，内容も多岐に渡る．このため，設計を様々な局面に類別して整理することは一般的であり，その種の視点は設計についての理解を促進するものでもある．一方，そのような多面的な内容を伴う設計において，各局面での内容を連係させたり統合したりすること

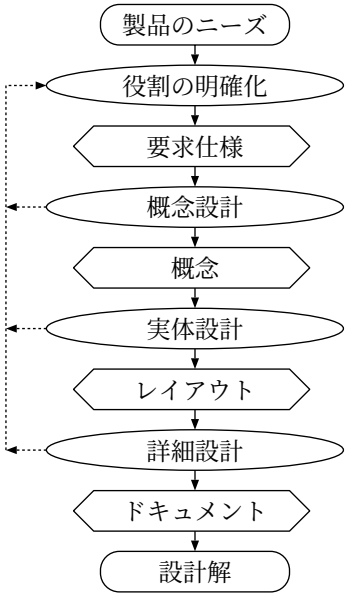


図 1　設計のプロセス[6)]

に明示的な意義を見出したのは 1990 年前後以降のコンカレントエンジニアリングなどの考え方ということになる．今日における設計の意味は，その頃が一つの契機となり，他の要因とも呼応しながら，機能を確保し安全を保障するための内容を決定することなどを超えて，例えば，製造性との連係，環境への配慮やサービスへの展開など様々な方面へと拡大されて把握されるようになっている[5)]．

設計プロセスを把握する考え方には様々なものがあるが，設計の全体における決定は様々な決定が折り重なることによって行われており，おおよそ，一連の連鎖のなかで，前段のものは全体的な構成についてのものであり，後段のものは細かい部分についてのものとなる．そのことを踏まえた場合の設計のプロセスは，概ね，図 1にも示すような，概念設計・実体設計・詳細設計，あるいは，概念設計・基

* 原稿受付 2005 年 8 月 29 日
† 大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻
(〒 565-0871 吹田市山田丘 2-1)

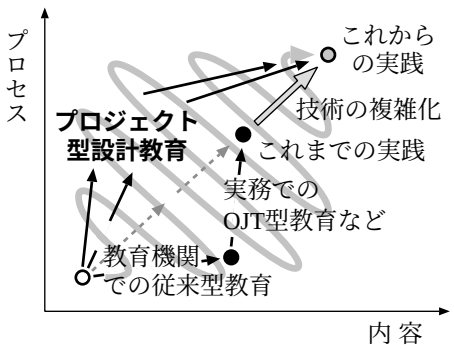


図 2　工学教育における「内容」と「プロセス」

本設計・詳細設計・生産設計などの連鎖として理解される[6]．上記の拡大とは，図 1のようなプロセスの構成に関連させれば，各段階での内容を相互に連携させて一連のものとして考えようとするものであったり，それらの検討を促進させるために，企画 (役割の明確化) や概念設計の段階での設計の方法をより合理的なものにしようとするものであったりすることになる．

3　設計教育における内容とプロセス

前節のようにして設計の意味が広がったことは，図 1の各局面で取り上げる「内容」に加えて，それらを連携させる「プロセス」が一定の意味を持つようになったということになる．そのことが工学教育もしくは設計教育にもたらす意味は図 2のように理解することができる．

まず，従来型の設計製図教育は，図 1で言うところの概念設計の結果を前提とした上で，何からの設計計算を行わせ，それによって規定される対象物の形を図面として表すことを主体としており，概ね，その後半の段階における内容を対象としたものとなっている．また，各科目の中で教示される事項についても，設計という視点からみれば，プロセスの各局面で必要となる知識の内容に重点が置かれているということになる．以上のもとでの従来型の教育におけるプロセスについての考え方は，明示的ではないにせよ，産業界などでの実務の中でこそ効率的に身に付けることができるものというものであったように思われる． OJT (On-The-Job Training) とはそのことを特徴付ける標語であったとも言える．

前述の 1990 年頃以降の欧米における設計工学の動向は，図 2 のもとでは，個々の知識すなわち内容だけでは不十分であり，プロセスの構成や運用も重要であり，両者は相補的なものであって，切り離すことができないものであることを明らかにしたものである．言い換えれば，技術が成熟し知識の充実した今日における現状は，プロセスを駆動する力についてもより高度なものを必要とするようになってきて，教育においても，早期の段階からプロセスについての授業を組み込み，内容とプロセスとの間を行ったり来たりしながら，段階的に展開していくことが求められる[7] ということになる．つまり，欧米での工学教育における PBL の展開はこのプロセスについての事項を取り入れるためのものであったと位置づけることができる．

4　PBL と設計教育における 2 つの形式

ところで，そもそもの PBL は Problem-Based Learning の略であり， 1960 年代から医学教育の方面で導入が始められ， 1980 年前後から，社会科学，人文科学，工学，コンピュータ・サイエンス，数学，芸術などの多くの分野においても展開されるようになったとのことである[8]．内容についても，当初は「問題解決能力と基礎知識を身に付けさせるため，問題を解かせる教育法」という狭いものであったが，最近では「実社会での課題あるいは仮想的課題をチームで協調的に解決することにより，また，仮説 - 検証 - 演繹的推論，アブダクションあるいは批判的思考力を利用することにより，問題解決力，自己学習力，コミュニケーション能力，リーダーシップ力などのスキルや基礎知識を身に付けさせる教育方法」という広い意味を伴うようになってきていて，そのことが， PBL の意味を Project-Based Learning に拡大させたということになる[8]．

工学教育における PBL の意義を把握するには，上記の PBL の普遍性を踏まえつつ，前出の図 1に示した設計プロセスに潜む意味を考えてみる必要がある．つまり，従来型の設計教育は，前述のように，設計プロセスの後半の段階における内容を対象としているが，それが暗に除外してきた方面へと教育の対象を拡大することが PBL の可能性に対する期待ということになる．その具体的な内容として以下の二つのものを挙げることができる．

- 全体像 ··· 企画 (役割の明確化) から最終的な設計解，さらには，モノを製作することや製作したモノの優劣に至るまでのプロセスにおいて，各段階での決定内容が別の段階にどのように影響するかされるかについての内容.

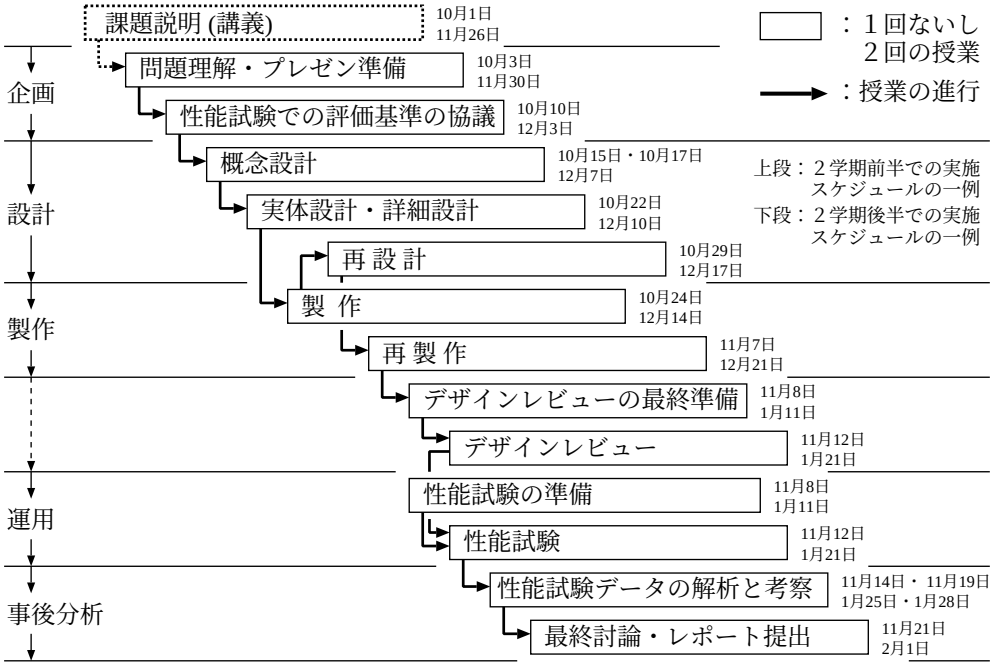


図３　設計プロジェクト入門の実施スケジュール

- 抽象化 ··· 企画や概念設計などの段階で，設計対象の内容が曖昧であるにも拘らず，何らかの決定や評価を行ったりするためのモノのとらえ方や評価の仕方など．

なお，以上のそれぞれを教育課程のどの段階で取り上げるかについては，様々な考え方が成り立つものと思われる．一つの視点は，前者は個別内容の把握の仕方に対して前提となるものであることから，早期の段階でその種のものが存在していることを理解させるが必要であり，後者は抽象化の前提となる内容を理解できない状態ではその意味を理解させることはできないことから，終盤の段階で修得済みの内容を前提として学習させる必要があるというものである．

以上のもと，欧米での工学分野における PBL の展開においては，上記の 2 つの項目とも対応する形で，以下の 2 つのタイプのものを導入することが一つの典型とされている[9]．

- Cornerstone Project ··· 個別の内容についての学習に先立ち，それらを活用する設計プロセスの全体像についてのイメージを植えつけることを通じて，後続する各授業科目に向け，学習者を工学的な問題についての枠組みへと誘導する PBL 科目．
- Capstone Project ··· 個別の授業科目で学習済みの内容を相互に連結して総合化させるためプロジェクト課題を設定し，その過程における新しい知識の追加的な自己獲得能力の開発などとも合わせて，総合的な課題設定能力と課題解決能力を習得させる PBL 科目．

以下では，大阪大学でそれぞれに対応させつつ実施している「設計プロジェクト入門[10),11)]」と「製品開発設計演習[12)]」と称する 2 つの科目の概略について紹介する．

5　設計プロセスについての導入教育

設計プロジェクト入門[10),11)]は，創成 (型) 教育導入への要請を受けて，2001 年度から学部 3 年次の 2 学期に従来からの機械設計製図の一部を振り替えて導入し，2005 年度以降の新入生に適用する新カリキュラムでは 2 年次 2 学期に実施することにしている科目である．なお，新カリキュラムでは，その他に 2 年次 1 学期と 3 年次 1 学期にも別のプロジェクト型設計関連科目を設定している．

設計プロジェクト入門は，上述の Cornerstone Project を意図したものであり，設計という視点から，設計の上流段階から生産を経て運用や試験，その結果に基づいた設計の変更などの工学的なプロセスの全体像についてのイメージを確実に獲得させることを主目的としており，この点が本科目の特徴と

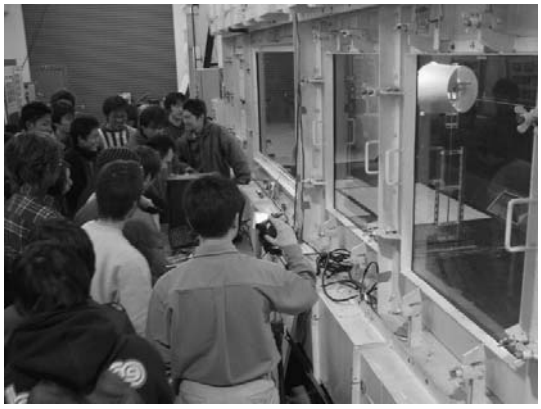
なる部分である．この目的を達成するために配慮した点は，授業スケジュールの構成と，プロジェクトの媒体となる課題の設定である．

前者のスケジュールについては，漠然と何らかのプロジェクトを与えても，経験が乏しく十分な知識も持たない学生は場当たり的に設計や製作を進める可能性が高いことから，むしろ，プロセスを構成する各段階の意味を体験的に把握できるように，各授業時間に行うべきタスクの内容を明確に与えることにしている．また，設計においては，概念設計で考えた内容を詳細設計の結果を踏まえて再構成することや，実際に製作を行ってみたり試験を行ってみたりした結果を踏まえて設計を改めることも重要な側面であることから，その種の試行錯誤的な繰り返しを一連のスケジュールの中に組み込むこととしている．図 3はそのようなスケジュールの一例である．内容は，セメスターの半分，約 2ヵ月の間に確保した，週 2 回，合計 14 回の授業時間を通じて，3 名から 5 名の学生からなるチームの活動として，様々なタスク，課題選定，概念設計，詳細設計，製作，再設計，再製作，デザインレビュー，運用・試験，評価，分析のそれぞれを，段階を経ながら，着実に体験させるというものである．

一方，後者の課題設定については，上記のスケジュールのもとでの時間的な制約を踏まえて，多人数の学生に，短期間に製作や試験をも含めた一連の内容を体験させることができるものとする必要がある．また，学生の意欲を高めるためには，すべてのチームに共通の課題を与えて，性能を競わせるような形式にすることが有効であると考えられるが，それに向けては多種多様な設計解が想定できる課題であることも求められる．それらのためには，当然のこととして，実用的な機械や装置の設計を課題として取り上げることはできず，何らかの模擬的な課題を設定せざるを得ない．加えて，対象は機械工学を学んでいる学生であり，3 年次の段階では，材料力学や機械力学などの基礎的な知識は学習済みであり，それらを何らかの形で参照させることを通じて，それらの知識の持つ具体的な意味や活用方法についての知見を獲得させることも意図すべき事項である．以上のことから，これまでのところ，取り扱いが簡単で，製作に要する時間も短く，特殊な工具を必要としない画用紙などの材料を用いることを前提として，課題を設定してきている．

図 4は，以上の考え方のもとで授業で用いてきた

(a)　衝撃吸収装置の設計プロジェクト



(b)　風力発電装置の設計プロジェクト

図 4　プロジェクト課題の具体例

プロジェクト課題の具体例を示したものである．図中 (a) は，スロープを滑り落ちることによって生じる衝撃を吸収して台車に乗せてある卵が割れないようにする装置の試験を行っている様子，図中 (b) は，風力発電を行うための風車を設計・製作させ，それを研究用風洞の中に設置して性能試験を行っている様子を示したものである．

導入当初，内部には，非現実的な題材を用いた教育で如何ほどの効果が挙がるのかといった懐疑的な意見もあったことは事実であるが，2001 年度以降の 4 年間の実施において，受講学生へのアンケート調査を行い，教育成果の検証を行ってきている．それに従えば，この科目に対する学生の関心は高く，以上のようなプロジェクトの実施を通じて，学生が創成教育の一般的な目標とされるプレゼンテーションやコミュニケーションの力を修得していることに加えて，実施スケジュールや課題の設定で意図したプロセスの意味や知識の活用方法などについても，内省的な学習が行えていることが確認できている．

6　産学連携方式による設計方法論教育

製品開発設計演習[12]は，2005 年度から新たに大学院博士前期課程に導入した，前述の PBL の形式と照らし合わせれば，抽象化の能力を養成することをも意図した Capstone Project に相当する科目である．具体的な内容は，Design for X (DFX) 方法論を講義で教示しつつ，産業界から提供される製品開発設計課題を解決していくことを通じて，実践的で設計方法論を学習させるというものである．

この科目で取り上げている DFX 方法論[13]とは，前述の 1990 年頃を起点とした設計工学の変化において，コンカレントエンジニアリングなどと関連しながら，各方面における検討事項を設計の上流段階にフロントローディングすることを目的として整備が進んだ考え方と方法である．典型的なものとして品質機能展開や製造性設計などを挙げることができる．それらの目指すところは，設計プロセスを，図 1に示したように，多段階の意思決定を経ながら広範な設計解の空間の中から目的に適合した解を導き出す過程と見た場合に，従来は後工程で検討されていた詳細な内容を，何らかの抽象化を介して，設計の自由度が大きい前工程で検討できるようにするための系統的な枠組みを供することである．それらを適切に活用できれば，図 5にも示すように，フロントローディングを通じて，局所最適ではなく，全体最適な優れた設計解を導き出すことができるとされている．

DFX 方法論を教育の対象とすることは，それらの有効性を認めれば，重要な課題と言える．米国などの大学院での設計教育においては，1990 年前後以降，研究面での変化[5]とも呼応しつつ，設計方法論が主要な教育内容となっている例[14]も少なくない．設計方法論についての教育を実施するにあたっては，設計プロセスの後段の内容を理解できることが前提であること，また，設計方法論の内容が，物理現象についての理論のように厳密で再現性のあるものではなく，どちらかと言えば，曖昧な部分を伴うものであることから，座学による一方的な教育では教示が難しく，具体的な実践を絡めながら教育を行う必要があること，などが境界条件となる．これらの点は，設計方法論についての教育が大学院レベルでのプロジェクト型教育となり，その際のプロジェクトが産業界から提供される具体的な製品開発設計課題となる理由である．

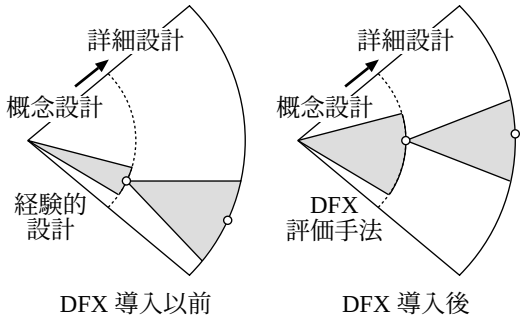


図 5　設計プロセスと DFX 方法論

上述の製品開発設計演習とは，以上のような背景のもと，なかでも，スタンフォード大学大学院での先行事例[14]なども参考にしながら，大学院レベルでの設計教育科目として導入したものである．その実施スケジュールは図 6のように設定しており，前半の部分では講義で示された方法論を，順次，プロジェクト課題に適用していくことを通じて，解決すべき課題を明確に設定した後に，後半の部分では機械工学における様々な知識を動員して課題の解決に向けた何らかの設計案を導き出すことを意図している．前半の部分で教える方法論としては，価値工学，品質機能展開，製造性設計，組立性設計，易環境性設計，信頼性設計，共通化設計，設計コンセプトの生成・選択法など，多くのものを取り上げている．限られた時間の範囲内ではそれぞれの細部についての教育を行うことはできないが，むしろ，それぞれの骨子を関連させながら教育することを通じて，一連のものに共通する本質的な考え方を修得させることを目的としている．

本稿を執筆している時点 (2005 年 8 月末) では，まだ，初めての実施が完了していないため，教育の成果を正確に検証することはできないが，少なくも，以下のような感触を得ている．

- 7 月初旬の中間デザインレビュー (分析) の段階では，各方法論を使えるようになっていて，それらを用いることによって，短期間で，課題に潜んでいる問題点を系統立てて正確に把握できている．しかしながら，方法論に使われている傾向も観られ，一連のものを総合的に活用できるまでには至っていない．
- 7 月初旬以降の新しい設計提案を考え出そうとしていく過程を経て，そもそも，設計の上流段階ではどのように設計を進めていくべきか，各設計方法論の本質的な意味がどのよう

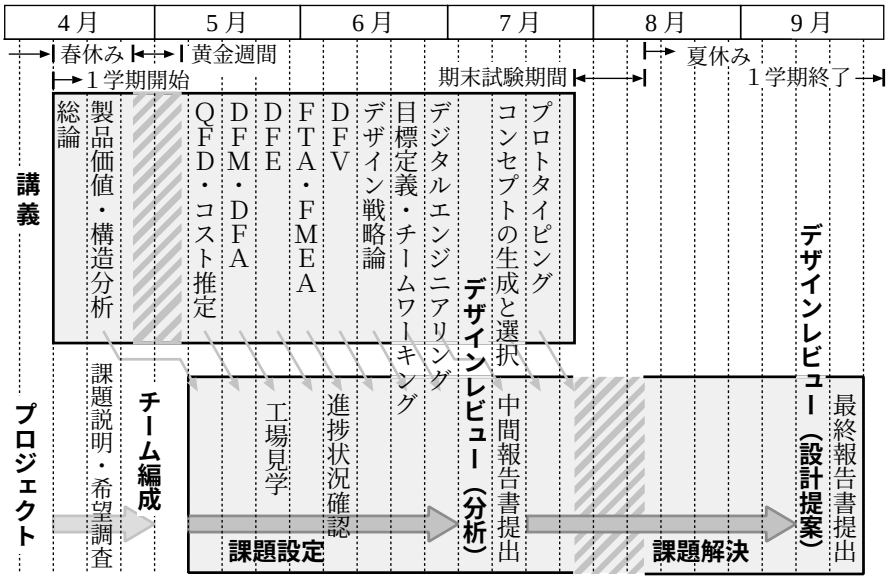


図 6　製品開発設計演習の実施スケジュール

なものであるか，それらをどのように総合的な運用すべきか，などについての知見を獲得しつつある．

以上の背後では実施上の課題も浮かび上がりつつあるが，設計方法論についての教育を産業界から提供されるプロジェクトのもとで PBL 方式で実施することには従来からの設計教育とは異なる新しい成果が期待できるように感じている．本年度の最終結果も踏まえつつ，来年度以降，改善を加えながら，より優れた設計教育方法として確立していく必要があるものと考えている．

7　さいごに

本稿では，設計プロセスについての考え方の変化から設計教育への要請の変化を俯瞰した後，プロジェクト型設計教育の展開方法に関して，大阪大学における具体例を紹介した．本文中で示した Cornerstone Project と Capstone Project という区分は米国などでは一つのスタイルとなっているようであるが，日本でも，創成教育についての活動が効を奏して，設計教育の改革が進みつつある[1)~4)]．本稿が，一層の進展に向けて，何らかの参考になれば，幸いである．

参考文献

1) ワークショップ「 設計工学からみた創成型教育科目の課題と実践 」, 日本機械学会 2002 年度年次大会講演資料集, 02-1 (2002).
2) 日本機械学会 2002 年度 年次大会 ポスターセッション「創成型教育科目の展開」資料集 (2002).
3) ワークショップ「 設計工学からみた創成教育の課題と実践 II 」, 日本機械学会 2003 年度年次大会講演資料集, 03-1 (2003).
4) ワークショップ「 設計工学からみた創成教育の課題と実践 III 」, 日本機械学会 2004 年度年次大会講演資料集, 04-1 (2004).
5) 藤田喜久雄：設計工学とその展開, 日本機械学会誌, 108, 1034 (2005), 43.
6) Pahl, G. and Beitz, W.：*Engineering Design — A Systematic Approach, Second Edition*, (Translated by Wallace, K. *et al.*), (1996), Springer, [なお，旧版については， G. ポール /W. バイツ：(設計工学研究グループ 訳), 工学設計 — 体系的アプローチ, (1995), 培風館. として邦訳がある].
7) Otto, K. and Wood, K.：Designing the Design Course Sequence, *Mechanical Engineering — Premiere Issue on Design*, (November 1999), 39, ASME.
8) 大中逸雄： 創造性・国際性工学教育法の開発と評価方法に関する研究, 科学研究費補助金研究成果報告書, (2001).
9) Sheppard, S. D.： Design as Cornerstone and Capstone, *Mechanical Engineering — Premiere Issue on Design*, (November 1999), 44, ASME.
10) Fujita, K.： Embedding Real Engineering De-

cisions and Sometimes-Consequent Errors in a Small Design Project toward Reflective Learning, *Proceedings of the 2002 ASME Design Engineering Technical Conferences*, (2002), Paper Number DETC2002/DTM-34003.

11) 藤田喜久雄： 設計工学と創成教育 ～ 画用紙製衝撃吸収装置の設計プロジェクトの実践 ～, 機械の研究, 55, 1 (2003), 172, 養賢堂.

12) 藤田喜久雄, 梅田靖, 榎本俊之, 野間口大 : 設計方法論の展開と教育における産学連携, 日本機械学会 第 15 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, 05-17 (2005), 402.

13) 藤田喜久雄 ： DFX 方法論, 日本機械学会誌, 106, 1016 (2003), 546.

14) 藤田喜久雄： スタンフォード大学大学院におけるプロジェクトを主体にした設計教育, 日本機械学会 第 6 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, 96-45 (1996), 223.

ふじた　きくお
藤田 喜久雄

平成 2 年　大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了．大阪大学助手，講師，助教授を経て，平成 14 年より大阪大学教授 (大学院工学研究科機械工学専攻)．平成 11 年 ISPE Best Paper Award．平成 12 年 TMCE2000 Best Paper Award．平成 17 年 日本機械学会教育賞．平成 17 年 日本機械学会設計工学・システム部門部門賞 (業績賞).