Osaka University Knowledge Archive

Title	鋳造欠陥対策のための知識整理に関する研究
Author(s)	阿手, 雅博
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2466
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

工 2 2883

鋳造欠陥対策のための知識整理に関する研究

2004年

阿 手 雅 博

鋳造欠陥対策のための知識整理に関する研究

2004年

阿　手　雅　博

目　次

第１章　緒　論

１．１　緒言 1

１．２　従来の研究 3

１．２．１　鋳造欠陥の事例整理に関する研究 3

１．２．２　鋳造欠陥対策エキスパートシステムに関する研究 5

１．２．３　鋳造欠陥技術文書のテキストマイニングに関する研究 7

１．２．４　鋳造欠陥対策の選択における意思決定支援に関する研究 8

１．３　本研究の概要 10

参考文献 12

第２章　鋳造欠陥情報の視覚的な整理

２．１　緒言 16

２．２　鋳造欠陥情報の特徴 16

２．３　従来の事例整理方法と問題点 18

２．４　鋳造欠陥情報の視覚的整理システム 21

２．５　結言 24

参考文献 26

第３章　決定木による鋳造欠陥診断型エキスパートシステム

３．１　緒言 27

３．２　鋳造欠陥に関する知識整理の手順 28

３．３　エキスパートシェルによるルール作成の問題点と対策 31

３．３．１　エキスパートシェルによるルールの作成 31

３．３．２　属性の順序と属性値不明の影響 34

３．３．３　ルール生成で反映されない属性の対策 35

３．４　結言 37

参考文献 38

第４章　リレーショナルデータベース手法による鋳造欠陥情報の蓄積と共有化

４．１　緒言 39

４．２　鋳造欠陥情報蓄積システム 40

４．３　鋳造欠陥情報共有システム 43
４．４　結言 47
参考文献 48

第５章　自然言語処理による鋳造欠陥情報の検索
５．１　緒言 49
５．２　鋳造技術情報活用のための文書分析システム 49
５．２．１　鋳造技術情報の特徴と知識整理の方法 49
５．２．２　文書分析システム 50
５．３　概念検索と検索結果の評価 53
５．４　従来のキーワード検索と本検索手法の比較 55
５．５　技術情報の概念検索例 57
５．６　結言 58
参考文献 59

第６章　スコア法による鋳造欠陥対策の意思決定支援システム
６．１　緒言 60
６．２　AHP 法による鋳造欠陥対策の意思決定支援 60
６．２．１　人間による対策案の評価 60
６．２．２　鋳造欠陥対策の意思決定への AHP 法の適用 61
６．２．３　一対比較の整合性 63
６．３　意思決定支援システム 64
６．４　システムの検証と考察 68
６．５　結言 71
参考文献 72

第７章　総括 73
謝辞 77
本論文に関連した公表論文 78

第1章　緒　論

1．1　緒言

鋳造プロセスは比較的単純な工程で，複雑形状あるいは大型金属部品の一体製造が行える極めて優れた加工プロセスである．このため，鋳造品は，日用品のみならず，自動車，工作機械，車両，船舶用の部品として多方面で使用されている．しかし，近年，製品や顧客の多様化，プラスチックなどの新素材の台頭，さらには，海外企業との競争が進むなかで，鋳造品に対する要求はますます厳しいものとなり，多品種少量生産においても健全な鋳造品をより低コストで短期間に最適量生産することが求められている．

鋳造プロセスにおける重要な問題のひとつに鋳造欠陥の発生とその対策がある．鋳造欠陥が発生した場合，鋳造品の品質低下，不具合品の廃棄あるいは欠陥補修に伴う製造原価の高騰，作業時間の浪費など種々の問題を引き起すことになる．また，もし，欠陥のある鋳造品が機械部品として使用されてしまった場合には，疲労寿命低下などの重要な問題を引き起こし，鋳造業界に対する信頼性を低下させることにもなる．強く求められている高品質鋳造品を迅速に供給するためには，鋳造欠陥の発生を防止するための技術と，再発防止のための迅速な対策技術が必要になる．

鋳造欠陥については，従来から多くの研究がなされてきた．しかし，鋳造プロセスでは，鋳造方案，造型，溶解，注湯，凝固，型ばらし，仕上げ加工，熱処理の各工程において極めて多くの因子が鋳造欠陥の発生に関与し，それらの因果関係を明確にとらえることができない場合が少なくない．そのため，鋳造プロセスと欠陥発生に関わる理論体系化は十分には進んでおらず，実際の鋳造現場における鋳造欠陥の同定や対策については，依然として経験によって決定された勘に頼ることが多いのが現状である．

これに対し，精力的に研究が進められている凝固や湯流れ現象のコンピュータ・シミュレーション技術は，引け巣や湯廻り不良などの発生を事前に予測することで，鋳造方案の最適化に著しい効果を上げている[1-14]．しかし，コンピュータ・シミュレーションでは多種多様な鋳造欠陥の全てに対応することは困難である．

鋳造欠陥の発生に直面した場合，熟練者らは，無意識のうちに経験に基づいたいくつかの解釈から発生原因を推定し，やはり経験に基づいて対策案を導きだしている．しかし，鋳造欠陥の発生原因となり得る要因が数多く存在し，それらの論理的関連が不明確である場合が多いので，熟練者といえども，どの資料を参照すべきなのか明確に判断することができないケースや，経験的判断によって得られた対策案が妥当なものであるか否かが不明なケースが多く，理論的裏付けのない対策案が主張される可能性もある．

そのため，効果のある欠陥対策を施すまでには，どうしても試行錯誤を繰り返さなければならなかった．そのため，安定した品質の鋳造品を短期間に製作したい場合には，歩留まりの低下を招いても安全率を高く設定するか，鋳造欠陥の再発に対して十分な保証がなされないかのどちらかになり，結果的に生産性や信頼性を回復できないという悪循環をもたらしてきた．従って，厳しい低コスト化，短納期化，高品質化の要求に対応するためには，従来のような経験的判断と試行錯誤だけのアプローチでは限界があり，論理的に整理された的確な情報に基づいて欠陥対策を支援する技術の開発が望まれてきた．

もし，鋳造欠陥の発生に際して，技術者に的確な情報を迅速に提示し，意思決定を支援することができれば，より合理的な鋳造欠陥対策が可能になり，鋳造技術の向上に大きく寄与することができる．そのためには，以下の方法を開発する必要がある．

（1）過去の資料や熟練者が経験的に得た知識を整理し，鋳造欠陥に関する知識として蓄積する方法．

（2）蓄積した知識から的確な情報を迅速に抽出し，技術者に分かり易く提供する方法．

（3）技術者が対策案を立てる場合の意思決定を支援する方法．

こうすることで，従来のような勘と経験による試行錯誤的なアプローチではなく，鋳造現場の技術者が論理的に納得でき，しかもコンセンサスをもって迅速に対応できる鋳造欠陥対策の決定が可能になる．さらに，過去の資料の有効利用が可能になるだけでなく，熟練技術者の高齢化に加えて優秀な若年労働者の確保が困難な現在，鋳造欠陥対策に関する経験的知識や技術の伝承も期待することができる．

このような背景の中で，鋳造欠陥の発生に直面した場合の観察結果，操業条件，対策案などの情報を蓄積し，鋳造欠陥対策に役立てようという試みが 1990 年代から進められてきた [21,22]．しかし，それらでは，次のような点があまり考慮されていなかった．

（1）過去の鋳造欠陥情報を知識として整理し活用する方法

（2）鋳造欠陥対策情報を電子的に蓄積して有効活用する方法

（3）技術文書を分類，検索，識別して知識として活用する方法

（4）対策案を定量的に評価する方法

そこで，本研究は，以上のような従来の問題点に対応し，鋳造欠陥の同定から対策案の決定までの一連の作業の中で，技術者の判断を支援するために的確な情報を提示する技術の確立を目的に実施された．

1．2　従来の研究

1．2．1　鋳造欠陥の事例整理に関する研究

過去の事例は鋳造欠陥の同定，原因究明，対策における貴重な技術情報であり，これを体系的に整理・蓄積することは極めて重要である．しかし，鋳造欠陥の分類は極めて難しく「ガス吹かれ（gas blow）」と「ピンホール（pin hole）」のように論理的に区別できないもの，「砂かみ（sand inclusion）」と「のろかみ（slag inclusion）」のようにショットブラスト処理後では区別が困難なもの，「切れ（hot tear）」と「割れ／冷間亀裂（cold crack）」のように検査では同一に扱う方が便利なもの，鋳造合金の種類や鋳造法によって名称の異なるものなどがあり，規格標準的なものは存在しない．

鋳造欠陥の一般的な分類方法には，①現れた現象または検査デバイスから，(1)外部欠陥，(2)内部欠陥，(3)マクロまたはミクロ組織欠陥，(4)材質欠陥，に分けて分類する方法，②欠陥の発生状況から，(1)物理的欠陥，(2)化学的欠陥，(3)物理・化学的複合欠陥，(4)金属組織的欠陥，に分けて分類する方法がある．また，欠陥の発生時期から，鋳造プロセスにおける鋳放し欠陥だけを鋳造欠陥とし，それ以降に発生する鋳仕上げ欠陥，熱処理欠陥を別に取り扱う場合や，現場テクニック集などのように工程ごとに分類する場合もある．しかし，これらの分類方法では，欠陥の捕え方が幅広く，適切な事例整理に結び付かない場合が少なくない．このため，事例整理においては個々の鋳造欠陥を他と明確に区別することができるより詳細で体系的な分類方法の確立が望まれてきた．

一方，鋳造プロセスにおいては同種類の鋳造欠陥がいろいろな形で現れたり，複数の鋳造欠陥が同時に発生したりする場合があり，その解釈は技術者の経験の度合いによって異なる．このため，検査順序や発見のし易さから，最初に発見された欠陥で分類されてしまい，同時に発生している他の欠陥が無視される結果，適切な対策を遅らせる場合もある．また，鋳造品の検査が，多くの場合，仕上げ加工後に実施されることから，どの工程で発生したかが不明なために明確に分類できない場合もある．このため，検査員や検査順序に影響され難い客観的な鋳造欠陥の分類手法の確立も必要になる．

このような背景のなか鋳造欠陥の事例整理に関する多くの研究がなされ，次のような整理例が発表されている．

1955 年に日本鋳物協会から発行された「鋳物不良の原因と対策」は，ねずみ鋳鉄鋳物に発生する鋳造欠陥の事例を 31 の名称に分類し，それぞれの欠陥について，その発生原因を作業工程ごとに解説している [23]．この原著は米国鋳物協会発行の Analysis of Casting Defects で，鋳鉄に共通な欠陥については現在も利用できるが，発行時期が早

いため有機自硬性鋳型や消失模型鋳造法などに特有の欠陥や球状黒鉛鋳鉄の欠陥については記述が無い．

1966 年，椙山ら [24] は，鋳造欠陥を外観的特徴によって整理した「銅合金鋳物の欠陥と対策」を発表した．この整理方法は，外観的特徴によって 9 種類に大別した鋳造欠陥を，観察精度を上げながら細分化するもので，各欠陥を欠陥番号と称する 4 桁の分類コードで表現している．コードの各桁は大分類，中分類，小分類，細分類の番号を示し，技術者は欠陥番号を知るだけで，その欠陥がどのようなものであるかを連想することができる．

1975 年，国際鋳物技術委員会が編集した「国際鋳物欠陥分類図集」が日本鋳物協会から発行された（日本語訳：千々岩，尾崎）[25]．鋳造欠陥の分類および欠陥番号のコード付けは，外観的特長をもとに椙山らと同様の方法で行われているが，ここでは，先頭の分類に 7 種類の欠陥を設定している．この事例集は 1952 年と 1955 年に発刊されたフランスの鋳物欠陥集（1960 年日本語版出版）に代わるものとして，ドイツ鋳物協会とフランスの技術委員会の共同作業によって編集されたもので，1971 年にドイツ語版，ついでフランス語版，1974 年にはアメリカ鋳物協会から英語版が出版された．日本語版では，欠陥名称や用語の海外との統一，新しい欠陥名の創作など，国際化に向けた努力が翻訳段階で払われている．「国際鋳物欠陥分類図集」は欠陥の種類を網羅したものであり，多くの場面で欠陥現象の解析に役立っている．また，その後，同種の事例集が発表されていないこともあり，発行から 25 年以上経つ現在も，鋳造欠陥の代表的な事例整理例とされている．

軽合金鋳物の分野では，1986 年に，福迫らによる「軽合金鋳物の欠陥写真集－欠陥と対策－」が日本非鉄金属鋳物協会から発表された [26]．ここでは，従来の，現象または検査デバイスによる分類方法と外観的特徴による分類を組み合わせて鋳造欠陥を分類している．鋳造欠陥の分類番号は 3 桁のアルファベットと 2 桁の数字で表され，先頭のアルファベットが現象または検査デバイスによる分類，続く 2 桁のアルファベットは外観的特徴による中分類と小分類，2 桁の数字は欠陥番号を示している．

以上のように，多くの先人の努力によって鋳造欠陥の事例整理が実現し，欠陥現象の解析，情報の取得などに役立っている．しかし，鋳造欠陥情報を有効活用し，今後の技術向上に結び付けるためには，これらの事例集に対して，現場からの技術情報や文献から得られる最新情報など，日々増加する鋳造欠陥情報を容易に追加・再整理できることが必要であり，そのための技術の開発が強く望まれる．

1．2．2　鋳造欠陥対策エキスパートシステムに関する研究

近年，コンピュータの飛躍的な進歩とコストパフォーマンスの向上と共に，鋳造の分野でも凝固解析への適用を初め，見積，砂処理，造型，溶解，後加工，検査など種々の工程でコンピュータが活用されるようになってきた．しかし，これらはプロセス制御か解析の場合がほとんどで，専門家の知能の代りをするほどには利用されていない．例えば，鋳造における凝固のコンピュータ・シミュレーション技術は実用化が確実に進んできたが [2,4,8]，今なお多くの場合，凝固解析モデルを作り，解析結果から欠陥の発生の有無等を判定するのは人間の仕事であり，経験を積んだ専門的知識が必要である．また，溶解，造型，仕上げ加工などの工程においても従来の自動プロセス制御では，予期せぬ故障や受注の急変には柔軟に対応することが困難であり，手動運転に切換えることが多い．従って，鋳造技術のように，多くの因子が複雑に絡み合って人間の判断が要求される分野では，人間の判断力と同程度の能力を持つコンピュータシステムの開発が強く望まれてきた．

一方，最近の人工知能に関する研究成果から，知識ベースに基づき，推論機能を持つエキスパートシステムが故障診断や運転などに関して実用化の域に達してきた．このような手法を鋳造プロセスに対して適用し，上記のような問題点を解決しようとする研究が行われ，砂型鋳造プロセス診断エキスパートシステム，鋳造欠陥対策エキスパートシステム，精密鋳造用ろう模型射出条件設定エキスパートシステム，精密鋳造用金型および鋳型設計エキスパートシステムなどが開発されてきた [27-42]．鋳造欠陥対策エキスパートシステムには次のようなものがある．

1）Casting Defect Analyser [21,43]

Novacast A/B 社（スウェーデン）と Dewtec 社（英国）により共同開発されたもので，市販されている．帰納法によるルール生成が可能なエキスパートシステム開発支援ツールである，Super Expert Professional と Extran (Intelligent Terminals Ltd，英国)を使用して構築されている．従ってコンピュータの質問に答えることにより欠陥を同定し，原因，対策を明らかにしてくれる．

このシステムは，生型および有機，無機粘結剤鋳型によるねずみ鋳鉄および球状黒鉛鋳鉄鋳物を対象に，引け巣・介在物およびガス欠陥などの欠陥の同定と原因の推定，対策に対する助言を行う．例として，シリコン鋳鉄の鋳造プロセスにおけるガス欠陥の原因を指摘するまでの過程が示されており，適切な指摘，対策への助言がなされている．

自己学習機能とルールの自動生成機能をもっているため，実績データを判断例として取り込むことによって知識，経験を容易に蓄積できるとされている．この機能を生か

せば，現場で発生する様々な問題に対して比較的容易に対処できるシステムになる可能性がある．また，実績データを増やしていくことによって，より多くのプロセスに対して適用できる可能性がある．

2）West Virginia University : R. C. Creese and S. Waibogha [44]

このシステムは，(1)欠陥の同定・分類システム，(2)原因列挙システム，(3)原因決定システム，(4)解決策決定システム，(5)操業監視システムの 5 つのサブシステムから構成されている．この内，最も重要なのは(3)，(4)のサブシステムであり，if then 形式のルール（Production Rule），後向き探索（Backward Chaining Model），確信度（Certainly Factor）を採用することによって，原因の評価に対する信頼度をより高めている．

欠陥が同定されると，以前に発生したこの欠陥に関する情報が欠陥データベースから得られる．このデータベースには，これまでに採用された原因，対策（解決策）および監視方法が保存されている．ただし，データベースを複雑にしないために，同一の工場に発生する欠陥に関するもののみに限定することが推奨されている．

欠陥の分類には ICFTA（International Committee of Foundry Technical Association）[45] のコードを使用し，欠陥のスケッチと併用することによって専門家でなくても確実な分類ができるようになっている．また，原因の列挙では，特性要因図を利用して可能性のあるあらゆる原因を表示している [46]．

完成して市販されているものではなく，方法とその可能性を示したものであるが，原理的には全ての鋳造欠陥に対応できると思われる．

3）鋳物博士 [22]

川崎重工業㈱精機事業部によって開発されたもので市販されている．

このシステムは，メニュー画面，初期質問画面，原因候補画面，詳細質問画面，診断結果画面の 5 つの画面と適宜表示させる説明画面から構成されている．それぞれの画面でコンピュータの質問に答えることにより欠陥を同定し，原因，対策を明らかにしてくれる．

メニュー画面には，鋳造欠陥を分類するための質問が表示される．質問は次のようなもので，この内のひとつを選択することによって鋳造欠陥は発生位置で分類される．

(1) 鋳肌表面に現れる，　(2) 切削面または研磨面に現れる

(3) 切断した内部に認めた，　(4) 目視できず，特殊な検査で認めた

初期質問画面には，欠陥の種類を判定するための質問が列記される．質問は外観上の特徴，発生位置，分布，大きさ，色，形状などを組み合わせた短文形式で表される．全ての質問に Yes/No または？（不明）で回答すると，その結果から予想できる鋳造欠

陥の種類・原因候補が列記されるので，その中のひとつを選択して詳細質問画面へ進む．

詳細質問画面では，選択した欠陥・原因候補の中から，さらに可能性の高いものに絞り込む．ここでの質問は初期質問に比べて詳細なために，質問文も長いものとなる．詳細質問に対する回答が完了すると，鋳造欠陥が同定されて診断結果画面が表示される．ここから，発生原因や対策事例などの詳細な情報を得ることができる．

多数の項目によって質問文が構成されているために，文言が長い，質問数が多く回答が煩雑，類似の質問が多く誤答をまねきやすいなどの問題がある．

鋳造欠陥対策エキスパートシステムは実用段階に入ったものもあり，この分野に対する関心の大きさを知ることができる．しかし，現状のエキスパートシステムでは，限られた範囲の成功例や基本思想が確立している情報をデータベースに持つものが多く，実際の鋳物工場においてどの程度の効果が期待できるか不明な点が多い．また，鋳造欠陥には明確な概念のないもの，形状，色の変化などで表したものが多く，文字だけでは実体を伝えることが難しい場合も少なくない．従って，実用化に際して重要な，ユーザフレンドリーなインターフェースの充実，データベースの最適化およびリレーショナル化，ユーザの理解を助けるためのイメージ情報の充実などを早急に実現することが強く望まれる．

1．2．3　鋳造欠陥技術文書のテキストマイニングに関する研究

文書の電子化が急速に進むなか，人間が日常のコミュニケーションに用いている言語を，コンピュータで理解したり生成したりする自然言語処理技術の研究が盛んに行われてきた[47-50]．この技術は 1940 年代に始まった機械翻訳の研究に端を発し，その研究過程において構文解析など自然言語をコンピュータで解析するための技術が開発され，実用化されている．テキストマイニングもそのひとつで，1990 年代後半に実用化された比較的新しい技術ある[51,52]．従来のデータマイニングが，売上情報などに代表される数値や文字列情報を取り扱うのに対して，テキストマイニングは文書情報を対象としており，大量の文書データを数値データと同じように自由自在にハンドリングして，隠れた事実や関連性を発見することを目的としている．

一般に，文書情報を処理する機能としては検索と分類がある．テキストマイニングではこれらを，概念検索，概念分類と呼ばれる機能で実現している[53]．キーワード検索に代表されるように，従来は質問語を文字列として認識してその有無によって判断したのに対し，概念検索では，質問語の有無ではなく，表現は異なっても文書全体での主旨の近さを検索する．従って，質問も自然言語でよく，関連度の高い文書を検索できる

ことから，特に，専門用語によるキーワードを設定しにくいビジネス特許の検索において威力を発揮している．概念分類では，概念検索機能を利用して類似する主旨の文書をさまざまな視点からグルーピングすることができる．

これらの機能を実現するためには，その業務分野における言葉と言葉の関連度情報を，数値化，自動抽出することによりテキストマイニング用の知識を得る必要がある．これに対しては，自然言語処理技術のひとつである形態素解析により文書データベースを解析し，ニューロ技術を用いて，対象分野における言葉の使われ方を代表する情報（共起情報）に基づく言葉の関連度によって多次元ベクトル空間に単語をマッピングすることで可能になる．[54-59]

これまでコンピュータと人間のかかわりは主として数値情報であったが，テキストマイニングはこれを文書情報にまで拡大するもので，人間の思考や知的活動を飛躍的に向上させる可能性を持つ技術といえる．既にこの技術は，自由記述形式アンケートやコールセンターにおける膨大な顧客の声の分析，メールコンタクトセンターにおける問い合わせ内容の自動分類と自動回答，www（World Wide Web）の FAQ（Frequently Asked Question）における検索の効率化や Q&A（Questions and Answers）における回答の効率化とレベルアップなどに利用され，企業戦略や経営戦略の立案に効果を上げている[60,61]．

もし，この技術を現場固有の言葉や曖昧な表現が多い鋳造分野の技術文書に適用できれば，現場で蓄積された鋳造欠陥に関するデータをそのままの利用し，有効な技術情報を的確に抽出して知識として活用できる可能性が高い．従って，そのための方法論の確立と鋳造分野の高精度な知識生成が強く望まれる．

1．2．4　鋳造欠陥対策の選択における意思決定支援に関する研究

鋳造欠陥対策の選択においては，複数の対策案から一つを選択しなければならないことが多く，その意思決定は容易でない．対策案の一つがあらゆる評価基準を満足することは稀で，通常は何らかの評価基準に基づいて決定しなければならない．しかし，現実には，評価基準が複数存在し，しかも，それらは互いに二律背反である場合が少なくない．このような場合に，単なる経験や勘ではなく，科学的手法に基づいて評価を行い意思決定するために，従来から数々の研究が行われてきた[62-73]．そのいくつかの方法の概要は以下のとおりである．

1）KJ 法[70,71]

1972 年に川喜田が考案し，次の(1)～(4)の手順で作業する．(1)ブレーンストーミン

グで出された意見をカードに記入する．(2)内容の近似したカードを集めていくつかのグループにまとめ，グループ名を付ける．(3)最終的なグループの配置を考慮して配置図を作成し，グループ間の関係を明確に示す．完成した図は KJ 図と呼ばれる．(4)口述または記述によって順次明晰に配置図を説明する．このとき，簡潔に配置図を説明できなければ図が適切でないことになり，配置や新しい発想の不可欠について検討する．

2）衆目評価法[64]

川喜田によって考案された手法である．KJ 図をもとにして，どの評価項目が重要であるかをメンバー全員で点数付けし，点数の高い順に区分けする方法をいう．

3）関連樹木法（階層図）[68]

問題・代替案・評価基準の関係を図に表したものである．意思決定には，まず問題があり，最終的な選択の対象となるいくつかの代替案がある．代替案の中から一つに絞り込むためには評価基準が存在する．この関係を階層的に図に表したもので，階層図とも呼ばれる．

4）ISM 法（Interpretive Structural Modeling）[62]

要素抽出法によって得られる問題の要因から，数学モデルを用いて最適な階層構造を導き出す手法で，1974 年に Warfield によって提唱された参加型の問題構造化モデルである．

5）マトリックス図[68]

問題対象の中の関連して分析したい 2 要素について，行列の 2 次元に配置し，そのマトリックスの交点に関連の有無や度合いを表示し，問題解決を効果的に進める．

6）階層分析法（AHP 法：Analytic Hierarchy Process）[72,73]

1970 年代に Saaty によって提案された．不確定な状況や多様な評価基準における意思決定法としてよく用いられる方法の一つで，関連樹木法（階層図）によって問題を最終目標・評価基準・代替案に整理した後，一対比較によって図中の各評価項目を数値で比較し，最終的に最適な解を導く手法である．階層分析法（AHP 法）は，他の意思決定方法に比べ，評価基準がたくさんあり，しかも，お互いに共通の尺度がないような問題の解決に当たれる．比較を一対で応えるとき，必ずしも定量的でない，やや大きいというようなあいまいな表現が使える．首尾一貫していないデータも扱え，その首尾一貫性の度合いが定量的に判断できるという特徴がある．また，複雑な問題もいくつかの階層に分けて整理することで対応できる．

鋳造欠陥対策において，従来のような試行錯誤に陥らないためには，欠陥対策の意思決定が，選択の根拠を明確にできる対策案の客観的評価に基づいたものでなくてはならない．その現実的な方法として対策案の評価を数値で表すことが考えられる．しかし，

対策案の選択における評価項目は，例えば，コスト，手配時間，実績，作業性など多種多様であり，しかもこれらの間には評価できる共通の尺度が存在しない．そのため，欠陥対策の選択については，これまで数値評価の試みがなされていない．しかし，上述の階層分析法によれば対策案の数値評価を実現できる可能性が高い．従って，階層分析法によって対策案を数値評価するための方法論の確立と，意思決定に関与する各要素と複数ある対策案の優先度を定量的に算出し，人間の判断の支援に利用できる意思決定支援システムの開発が望まれる．

1．3　本研究の概要

本研究は，既に述べたように，従来，経験的判断と試行錯誤によって対応してきた鋳造欠陥対策を，コンピュータを用いた新しい情報技術によって支援することにより，迅速で合理的な対策，鋳造欠陥情報の有効利用，コスト低減などを実現しようとするものである．すなわち，過去の技術情報を再検討してコンピュータが鋳造欠陥の同定を支援できる知識に整理するとともに鋳造欠陥に関する技術情報を容易に蓄積できるシステムを開発し，さらには，蓄積されている情報から可能性の高い対策案群を容易かつ論理的に抽出できるシステムと決定に関与する各要素と複数ある対策案の優先度を定量的に算出し，人間の判断を支援することができるシステムの構築を目的とする．本論文は，その一連の成果をまとめたもので，次の各章よりなっている．

第１章では，本研究が必要とされる背景，従来の研究の概要と問題点，および本研究の目的と概要について述べている．

第２章では，鋳造欠陥情報の特徴と従来の事例整理方法について調査し，鋳造欠陥情報の整理・蓄積などをどのように実現すれば，的確な情報の迅速な抽出をコンピュータによって支援できるかについて検討している．さらに，ハイパーリンク技術とカード型データベースを利用した鋳造欠陥の視覚的整理システムを作成し，その実用性について検討している．

第３章では，第２章の結果を受けて，大量の鋳造欠陥情報から収集した専門家の知識をコンピュータが推論可能な形式に整える知識整理の方法について検討し，コンピュータによって鋳造欠陥の分類ルールを自動作成できる可能性について検討している．

第４章では，収集した鋳造欠陥情報と個々の技術者が持つ欠陥対策情報を整理された電子情報として蓄積する方法と，これら有用な技術情報の共有と技術者間の情報交換を実現する方法について検討し，リレーショナルデータベース手法による鋳造欠陥情報蓄積システムとインターネットを利用した鋳造欠陥情報共有システムを構築した結果に

ついて述べている．

第５章では，現場で蓄積されたデジタル文書データ，特に鋳造欠陥に関するデータをそのまま利用して有効な技術情報を的確に抽出するための方法論について検討している．さらに，テキストマイニング技術を用いた文書分析システムを開発し，技術文書の分類，検索，識別などをどのように実現し，知識として活用できるかについて検討している．

第６章では，欠陥対策の意思決定に関与する各要素と複数ある対策案の優先度を定量的に算出し，人間の判断の支援に利用できる可能性について検討している．さらに，スコア法による欠陥対策意思決定支援システムのプロトタイプを作成し，実際の欠陥対策事例へ適用した結果について述べている．

第７章では，本論文の総括を行うとともに，結論を述べている．

参考文献

1) 大中逸雄：コンピュータ伝熱・凝固解析入門,丸善,(1985)212

2) 新山英輔，相沢達志：素形材,25(1985)7

3) A.K.Sharma and S.P.Owusu-Ofori : The American Society of Mechanical Engineers, No.88(1988)6

4) 菊池正夫，新山英輔："コンピュータシミュレーション事例集について",日本鋳物協会研究報告 59,(1991)4-22

5) J.L.Hill and T.Berry : Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes V, Ed. by M.Rappaz et al.(1991)321

6) 山内勇，大中逸雄："凝固解析用熱物性値データベースについて",日本鋳物協会研究報告 59,(1991)27

7) 大中逸雄："簡易モデルによる流れ解析",日本鋳物協会研究報告 59,(1991)48

8) 大中逸雄：日本金属学会会報,30(1991)208

9) 長坂悦敬，那智雅博，木口昭二，大中逸雄：鋳物,64(1992)462

10) 長坂悦敬，大中逸雄，村上俊彦：日本鋳造工学会全国講演大会概要集,128(1996)72

11) 金谷亮吾，大中逸雄，朱金東，北野靖二：鋳造工学,69(1997)247

12) 長坂悦敬，大中逸雄，村上俊彦：鋳造工学,69(1997)484

13) 安斉浩一，新山英輔，S.W.Hao："鋳造 CAE の動向および「Stefan」の開発",日本鋳造工学会研究報告 78,(1998)4

14) 大中逸雄，朱金東："鋳造分野におけるコンピュータ利用の動向と流れ解析システム「MULTI-FLOW」の開発",日本鋳造工学会研究報告 78,(1998)9

15) 加納慎也："SOLDIA-FLOW 解析事例",日本鋳造工学会研究報告 70,(1994)83

16) 山内勇，大中逸雄："鋳造プロセスにおけるコンピュータの利用 -CAD/CAM/CAE-",中小企業事業団中小企業研究所,(1990)第 2 分冊 1

17) 坂野武男："鋳物工場の FA 化",中小企業事業団中小企業研究所,(1990)第 2 分冊 77

18) 菊地正夫："労働力確保のための自動化・省力化技術の開発"，日本鋳造工学会シンポジウムテキスト,21(1995)43

19) 小田重男："砂処理システムと FA 化"，日本鋳造工学会シンポジウムテキスト,21(1995)69

20) 寺島一彦："FA システムの今後の展望"，日本鋳造工学会シンポジウムテキスト,21(1995)87

21) NovacastAB : Casting Defect Analyser,Manual,Mitsui

22) 川崎重工(株)精機事業部：鋳物博士マニュアル,(1995)
23) 日本鋳物協会訳：鋳物不良の原因と対策,丸善,(1955)
24) 日本総合鋳物センター編：銅合金鋳物の欠陥と対策,誠文堂新光社,(1966)
25) 国際鋳物技術委員会編：国際鋳物欠陥分類図集,日本鋳物協会,(1975)
26) 日本非鉄金属鋳物協会編：軽合金鋳物の欠陥写真集－欠陥と対策－,素形材センター,(1986)
27) T.F.Thompson and W.J.Clancey : IEEE Software, Vol.3 No.2(1986)6
28) G.S.Kumar and G.W.Ernst : An Expert System for Making Wax Patterns for Investment Casting, Artificial Intelligence Applications in Materials Science, Ed. by R.J.Harrison and L.D.Roth,The Metallurgical Society,(1987)93
29) B.R.Hathaway, R.G.Trimberger : Alloy Melting Expert System, Artificial Intelligence Applications in Materials Science, Ed. by R.J.Harrison and L.D.Roth, The Metallurgical Society,(1987)79
30) L.Bielawski and R.Lewand : Expert Systems Development Building PC Based Applications, QED Information Sciences,Inc.,Wellesley,MA(1988)
31) T.C.Walker and R.K.Miller : Expert System Handbook, The Fairmont Press,Inc., (1990)
32) K.Sudesh, G.R.Prakash and K.Md.Roshan : Knowledge-Based Expert System for Analysis of Casting Defects, AFS Transactions,96(1988)145
33) 牟禮雄二，山田宏作，福迫達一：鋳造工学,68(1996)766
34) M.Cheng and G.A.Stone : Development of a Fracture Analysis Expert System Using Basic Concepts of Knowledge Engineering, Expert System Applications in Materials Processing and Manufacturing, Ed. by M.Y.Demeri, The Minerals, Metals & Materials Society,(1990)
35) T.A.Phelps, R.W.Heine and J.J.Uicker : Analysis of Internal Unsoundness Casting Defects Using Artificial Intelligence Techniques, AFS Transactions, 97 (1989)507
36) 大中逸雄："素形材生産プロセスにおけるエキスパートシステムの開発に関する調査研究（II）",素形材センター研究調査報告 367,(1989)
37) 那智雅博：第 2 回 SOLDIA ユーザ会テキスト,(1991)85
38) 山内勇：鋳造方案支援エキスパートシステム，日本鋳物協会シンポジウムテキスト,123(1993)
39) 山内勇，大中逸雄："凝固解析用熱物性値データベースについて",日本鋳物協会研

究報告 59,(1991)27
40) 阿手雅博，山内勇，大中逸雄：鋳物,67(1995)391
41) 山内勇，大中逸雄：日本鋳物協会関西支部平成 2 年春期講演会概要集,(1990)5
42) A.Kulkarni, G.A.Stone : Casting Defect Analysis Expert System, AFS Transactions,100(1992)881
43) T.D.Law : Computer assistance in eliminating casting defects, Foundry Trade Journal,June 2(1987)458
44) R.C.Creese, S.Waibogha : Casting Reject Elimination Using Expert System, AFS Transactions,98(1987)617
45) Gussfehler-Atlas, VDG, Giesserei-Verlag,(1971)
Foundry Trade Journal,June 2(1988)454
46) K.Ishikawa : Guide to Quality Control, Asian Productivity Organization, Tokyo, Fifth Printing,(1982)
47) 岡本直之：自然言語処理入門,共立出版,(1991)
48) Harry Tennant：自然言語処理入門,産業図書,(1984)
49) 野口正一：図解自然言語処理,オーム社,(1995)
50) 冨浦洋一，渡辺日出雄ほか：情報処理,41(2000)425
51) 中野幹夫，那須川哲哉ほか：情報処理,40(1999)351
52) 長坂悦敬，古瀬勝茂，石井哲：経営情報学会 2002 年春期講演論文集,(2002)146
53) 石井哲：テキストマイニング活用法,リックテレコム,(2002)
54) Robert Hecht-Nielsen : Context Vectors, IEEE World Congress on Computational Intelligence,(1994)
55) 森辰則，國分智晴，田中崇：情報処理学会トランザクション「データベース」，Vol.43 No.SIG02(2001)5
56) 竹内広宜，小林メイ，青野雅樹，寒川光：情報処理学会研究報告「デジタル・ドキュメント」,No.032(2001)12
57) 湯浅夏樹，上田徹，外川文雄：情報処理学会論文誌,36-8(1995)1819
58) 稲子希望，笠原要，松澤和光：情報処理学会論文誌,41-8(2000)2291
59) 橋本文代，鈴木良弥，福本潤一：情報処理学会論文誌,37-10(1996)1789
60) 浅岡伴夫，石井哲，小山健治：CRM から CRE へ,日本能率協会マネジメント,(1999)
61) SAS インスティチュートジャパン：テキストマイニングがマーケティングを変える,PHP 研究所,(2001)
62) 木下栄蔵：マネジメントサイエンス入門,近代科学社,(1996)

63) 木下栄蔵：意思決定論入門,哲学出版,(1992)
64) 竹村哲：問題解決の技法,海文堂出版,(1999)
65) 松原望：意思決定の基礎,朝倉書店,(2001)
66) 生天目章：戦略的意思決定,朝倉書店,(2001)
67) 深野宏之：経営戦略のための意思決定と品質管理,工業調査会,(1991)
68) 長坂悦敬：産業企画論,学術図書,(2001)
69) 瀬尾芙巳子，福地崇生：あいまい環境下のモデリングと意思決定,京都大学学術出版会,(2002)
70) 川喜田二郎：発想法,中公新書,(1972)
71) 川喜田二郎：KJ 法,中央公論,(1986)
72) 刀根薫：ゲーム感覚意思決定法,日科技連,(1986)
73) 刀根薫：AHP 事例集,日科技連,(1986)

第２章　鋳造欠陥情報の視覚的な整理

２．１　緒言

鋳造欠陥が発生したとき，極めて迅速な対応が要求され，参照する過去の類似事例や鋳造欠陥情報の適切さが原因究明や対策の成否を左右する場合が少なくない．このため，最適な鋳造欠陥情報を必要に応じて迅速に取り出せるように整理・蓄積することが必要になる．

多くの先人の努力によって編纂された事例集や対策集[1-4]は，種々の鋳造欠陥を網羅し，各欠陥についてそれを特定する手がかり，発生原因，対策例，精度良い豊富な事例写真などが分類・整理されたもので，多くの場面で欠陥現象解明の重要な参考資料として利用される．しかし，欠陥対策はその鋳造品の製造条件などによってアプローチの方法が異なる．このため，一般の事例集だけでは十分といえず，その工場の製品鋳物に応じた独自の欠陥分類とそれに従った鋳造欠陥情報の整理・蓄積が重要なポイントになる．また，現場からの技術情報や文献から得られる最新情報など，日々増加する鋳造欠陥情報を容易に追加・再整理できることも必要である．これらを実現し，最適な情報の迅速な参照を支援する方法の一つとして，コンピュータを用いた鋳造欠陥情報の整理と蓄積が考えられる．

近年の情報機器の発達と日本語入力環境の向上，OCR (Optical Character Reader) など，キーボード以外の入力技術の向上などにより，文章情報を比較的簡単に電子化することができるようになった．また，パーソナルコンピュータ上で利用できるデータベース管理システムも多数発売され，情報を容易に蓄積することができるようになった．これらの技術を利用すれば，鋳造欠陥情報の電子的な蓄積，抽出，再整理が容易に実現でき，的確な情報を迅速に，しかも技術者に分かりやすく提示できる可能性が高い．

そこで，本章では，鋳造欠陥情報の特徴と従来の事例整理方法について調査し，鋳造欠陥情報の整理・蓄積などをどのように実現すれば，的確な情報の迅速な抽出をコンピュータによって支援できるかについて検討し，カード型データベースとハイパーリンク技術を利用した鋳造欠陥情報の視覚的整理システムを開発した．

２．２　鋳造欠陥情報の特徴

鋳造欠陥情報は，その内容から，(1)学協会誌の特集記事や論文集のように，狭い範囲の専門的な問題について最新の情報が詳細に記述されているもの，(2)研究報告のよ

うに，あるテーマの下に多くの事例とそれらに付いての解説などを収集したもの [5-7]，(3)事例報告のように現場での再利用を目的に記録された内容を学会誌などに掲載するために編集したもの [8]，(4)鋳造欠陥の発生に直面した場合に現場で残される記録（例えば，観察結果，原因についての考察，対策案，操業条件，参考資料，解決に至った経緯など）のように大別することができる．

鋳造欠陥の原因究明と対策にとって最も重要な情報は，各工場に蓄積された現場の記録から得られることが多く，まずこれを参照する場合が多い．しかし，過去に経験しない欠陥の発生に直面するなど，自社の情報が存在しない場合には，上記(2)，(3)から外部（同業他社）の情報を参照することができる．各種の研究報告は，重要な問題や話題性の高い問題について事例をもとにまとめたものが多く，該当するテーマが見つかれば鋳造欠陥の原因究明と対策にとって貴重な情報が得られる可能性が高い．事例報告は，欠陥の発生状況や対策の効果などに詳しく，対策の失敗例や技術的なノウハウまで記述されている場合もあり，一般に公開されている鋳造欠陥情報の中では最も鋳造現場に近い貴重な情報を得ることができる．多くの場合，事例報告は学協会誌の記事として掲載され，話題はその時々で異なることから調査には困難を伴うが，目的に合致した報告を見つけることができれば，欠陥対策の立案にとって極めて重要かつ現実的な情報が得られるばかりか適切な対策案自体が得られる可能性もある．

鋳造欠陥はその実態を文書で伝えることが困難な場合が少なくない．このため，鋳造欠陥情報には，理解を助けるための事例写真，図面，スケッチ，特性要因図，グラフなどが多数掲載されている．また，鋳造欠陥情報には，数値化できるデータが少ない，表現形式や言葉そのものに意味のある場合が多い，曖昧な表現，類似語，現場固有の表現が多いなどの特徴がある．例えば，羽組み（型ずれ），飲み（鋳込み速度），欠陥（不良，不具合），粗い肌（荒らされ），ブローホール（ガス吹かれ，吹かれ），孔（穴，空洞），割れ（亀裂）などの類似語がある．また，現象を表す場合，すくわれ，出っ張り，へこみ，くぼみ，鋳放し，色彩がある，色づく，やや大きい，～状に盛り上がる，などの表現がよく使用され，このような語句は鋳造現場に近い情報ほど多用される傾向がある．このため，事例報告などでは，その現場固有の表現が理解を妨げる場合もある．

鋳造欠陥の対策にあたっては図 2.1 のように，鋳物からの情報と外部からの情報を現場からの情報に集約して対策を検討することが重要とされている [9]．すなわち，鋳造欠陥の発生に直面した場合，現場からの情報と鋳物からの情報に類似した内部情報と適切な外部情報を迅速に探し出せることが欠陥対策立案の重要なポイントになる．また，今後の技術向上のためには，対策の完了後，これらを整理し新しい自社情報として蓄積す

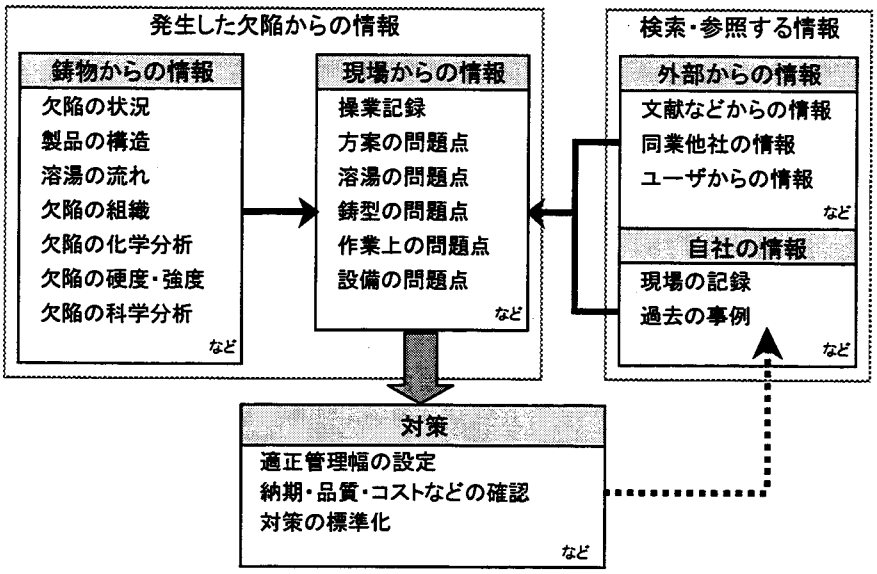


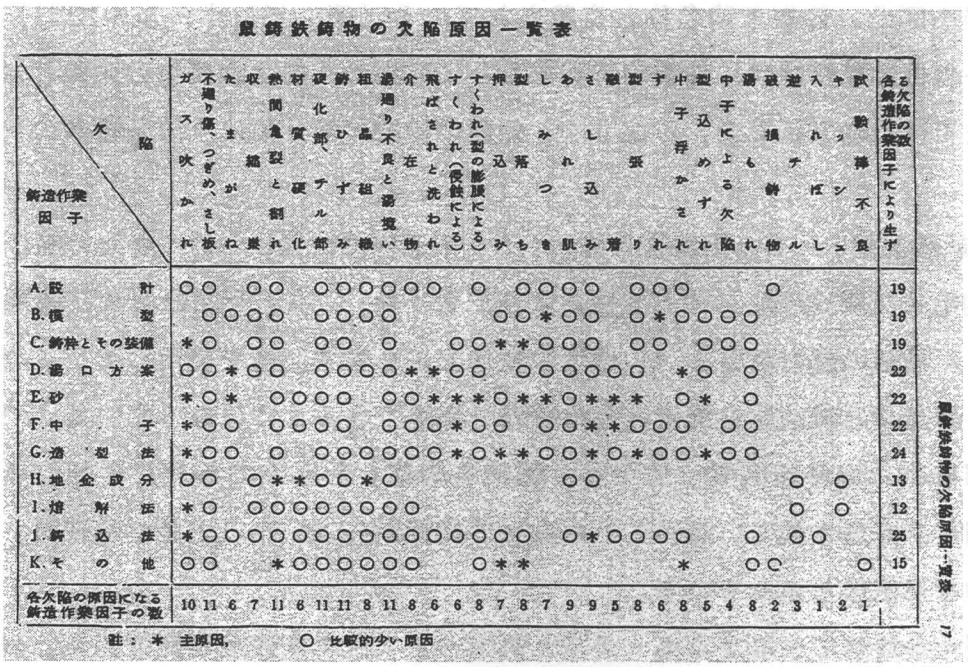
図2．1　鋳造欠陥対策と鋳造欠陥情報 [9]

る必要がある．しかし，鋳造欠陥情報を体系的に整理・蓄積する手法は見当たらず，現状では，鋳造欠陥情報を迅速に検索することは困難な場合が少なくない．

2．3　従来の事例整理方法と問題点

鋳造欠陥の慣用名称と欠陥の発生する鋳造作業因子によって事例を整理した例に「鋳物不良の原因と対策」（日本鋳物協会発行，1955 年）[1] がある．この事例集は，ねずみ鋳鉄鋳物に発生する鋳造欠陥の事例を 31 の名称に分類し，それぞれの欠陥について，その発生原因を 10 に分割した作業工程ごとに解説している [2,3]．基本的には，名称による整理方法であるが，図 2.2 の欠陥原因一覧表が添付されており，欠陥名が分からなくても作業工程から欠陥を同定できるように配慮されている．しかし，どの工程で発生したかを特定できない場合や，原因となる工程を特定できたとしても，その工程が多くの欠陥の発生因子となるような場合には，欠陥名を特定できず，欠陥の特定が困難になる可能性が高い．また，31 種類の欠陥名称の下に該当する個々の欠陥が列記されているため，例えば，「瘤（Rat）」が「しみつき」の下に整理されているなど，この 31 種類の欠陥の内容を把握していない場合には，個々の欠陥情報を得ることができないなどの問題がある．

次に示す「銅合金鋳物の欠陥と対策」[2]，「国際鋳物欠陥分類図集」[3]，「軽合金鋳物の欠陥写真集－欠陥と対策－」[4] は，鋳造欠陥を外観的特徴によって階層的に分類することで事例整理を実現している．また，各欠陥を 4 組の分類コードで表現し，このコ



表一覧一因原陥欠の物鋳鉄鋳型

鋳造作業因子 ＼ 欠陥	ガス吹かれ	不揃り傷、つぎめ、ましね板	たがね	収縮	熱間急裂と割れ	材質硬化	硬化部、アル	鋳ひずみ	粗晶組織	湯廻り不良と湯境い	介在物	飛ばされと洗われ	すくわれ（型の膨張による）（侵蝕による）	押込み	型落ち	しみつき	あしれ込み	さ肌み	融着	型張り	ずれ	中子浮かされ	型込めずれ	中子による欠陥	湯漏れ	破損物	逆ナルば	入れシ	ヤッシュ	試験棒不良	各欠陥の原因になる鋳造作業因子の数
A.設計	○	○		○	○		○	○	○	○	○	○		○		○	○	○	○		○	○	○			○					19
B.鋳型		○	○	○	○		○	○	○	○					○	○	*	○	○		○	*	○	○	○	○					19
C.鋳枠とその装備	*	○		○	○		○	○		○			○	○	*	*	○	○	○		○	○		○	○	○					19
D.湯口方案	○	○	*	○	○		○	○	○	○	*	*	○	○		○	○	○	○	○	○		*	○		○					22
E.砂	*	○	*		○	○	○	○		○	○	*	*	*	○	*	*	○	*	*	*		○	*		○					22
F.中子	*	○	○		○	○	○	○		○	○	○	*	○	○		○	○	*	*	○	○	○		○	○					22
G.造型法	*	○	○		○		○	○	○	○	○	○	*	○	*	*	○	○	*	○	*	○	○	*	○	○					24
H.地金成分	○	○		○	*	*	○	○	*	○								○	○								○		○		13
I.焼附法	*	○		○	○	○	○	○	○	○	○																○		○		12
J.鋳込法	*	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	*	○	○	○	○			○		○	○		25
K.その他	○	○			*	○	○	○	○	○	○			○	*	*							*			○	○			○	15
各欠陥の原因になる鋳造作業因子の数	10	11	6	7	11	6	11	11	8	11	8	6	6	8	8	7	9	5	5	8	6	8	5	4	8	2	3	1	2	1	

註：＊ 主原因，　○ 比較的少い原因

鋳鉄鋳物の欠陥原因一覧表　17

図2．2 ねずみ鋳鉄鋳物の欠陥原因一覧表
（鋳物不良の原因と対策 p.17 より）

ードを知るだけで，その欠陥がどのようなものであるかを連想することができる点も共通している．

1）「銅合金鋳物の欠陥と対策」（総合鋳物センター発行，1966 年）

各欠陥を代表する 4 桁のコードは欠陥番号と呼ばれる．コードの各桁は欠陥の大分類，中分類，小分類，細分類の番号を示し，細分類の番号が欠陥の種類を表している（例　ピンホール＝2140）．この分類例では，鋳造欠陥をその外観的特徴から次の 9 種類の欠陥に大別し，これを大分類としている．

1：不定形瘤または出っ張り，　2：孔，　3：割れ，　4：鋳肌不良，

5：湯回り不良，　6：寸法あるいは形状誤差，　7：介在物および金属組織の不均一，

8：狂いと反り，　9：肉眼的に見えない欠陥

この大分類を始点に，同一の分類に属する欠陥を外観的特長で更にいくつかのグループに分け，それぞれに 1 から順の分類番号を与える作業を繰り返して，中分類，小分類，細分類の番号を得ている．このとき，それ以上のグループ化ができない，あるいは，グループ化する必要が無い場合は 0 を与え，その欠陥が特定されたことを表す．また，細分化に達してもなおグルーピングが可能な場合は，“-”を付けた枝番号として表現している．

2）「国際鋳物欠陥分類図集」（日本鋳物協会発行，1975 年）

鋳造欠陥の分類を示す 4 桁のコードは，先頭から鋳物欠陥分類，鋳物欠陥大区分，

鋳物欠陥小区分，鋳物欠陥名称と定義されている（例　ピンホール＝B123）．欠陥の分類と各桁の番号付けは，外観的特徴をもとに前出の「銅合金鋳物の欠陥と対策」と同様の方法で行われているが，ここでは，先頭の鋳物欠陥分類に次の7種類の欠陥を設定している．

A：突起状欠陥，　B：空洞状欠陥，　C：不連続性欠陥，　D：表面欠陥，

E：欠損(未充満)鋳物，　F：寸法および形状不良，　G：介在物および異常組織

また，6 種類の鋳物材質と 11 種類の製造方法を表す記号を使用して，その欠陥が発生やすい鋳造材と鋳造法を同定の最終段階で考慮できるようになっている．

「国際鋳物欠陥分類図集」は欠陥の種類を網羅したものであり，また，その後，同種の事例集が発表されていないこともあって発行から 25 年以上経つ現在も，鋳造欠陥の代表的な事例集とされている．

3）「軽合金鋳物の欠陥写真集－欠陥と対策－」（日本非鉄金属鋳物協会，1986 年）

鋳造欠陥の分類を 3 桁のアルファベットと 2 桁の数字で表している．3 桁のアルファベットは，それぞれ大分類，中分類，小分類を示し，2 桁の数字は欠陥番号を示している（例　ピンホール＝Bbb02）．

ここでは，大分類に次の 3 種類の鋳造欠陥を採用している．

A：外部欠陥，　B：内部欠陥，　C：材質欠陥

これらを外観的特長によって段階的に分類する手法は，先の二つの事例整理と同様である．ここで使用される大分類は，従来の，現象または検査デバイスによる分類方法であり，この事例整理は従来の分類と外観的特徴による分類を組み合わせたものといえる．

鋳造欠陥の外観的特徴に注目し，観察精度を上げながら階層的に分類を進めるこれらの事例整理の方法は，表 2.1 のように多くの欠陥を客観的に分類することができる．このため，問題となっている欠陥に関する過去の事例を参照したい場合には，整理例のコメントやイラストと観察結果を照合しながら分類をたどり，最終的に事例写真を確認す

表2．1　従来の事例整理の概要

事例集	先頭の分類数	分類の階層	欠陥の種類	先頭の分類名		
銅合金鋳物の欠陥と対策	9	4	104	鋳肌不良 孔 割れ	狂いと反り 湯回り不良 寸法あるいは形状誤作	不定形瘤または出っ張り 介在物および金属組織の不均一 肉眼的に見えない欠陥
国際鋳物欠陥分類図集	7	4	110	突起状欠陥 空洞状欠陥 不連続性欠陥	表面欠陥 欠損(未充満)鋳物 寸法および形状不良	介在物および異常組織
軽合金鋳物の欠陥写真集	3	4	124	外部欠陥 内部欠陥 材質欠陥		

ることで，経験の少ない技術者であってもほとんどの場合は正しい事例資料を得ることができる．

鋳造欠陥の原因究明や対策においては，現場あるいは鋳物からの情報に合致する過去の事例などさまざまな鋳造欠陥情報を参照できることが重要であり，従来は事例集がその役割の一端を担ってきた．しかし，新しい技術が開発され，鋳造品の多様化も進む現在，製造する鋳造品に応じて最適な鋳造欠陥情報は大きく異なり，さらに，これらの情報は常により的確なものに更新される必要がある．このため，日々増加する鋳造欠陥情報から抽出した最新かつ最適な情報を容易に追加し再整理できる機能が強く求められる．また，欠陥対策は，欠陥の発生した鋳造品が量産品なのか非量産品なのかあるいは試作品なのか，鋳型の種類や造型法の違い，鋳造材などによってアプローチが異なる．このため，各工場ではあらかじめ自社が生産する鋳造品についての欠陥分類法を確立しておき，発生する欠陥の種類に応じて，不良率の大小によって分類を変更したり細分化したりする必要がある．すなわち，各社に共通な大分類があっても共通の細分類法はなく，自社の鋳造品に応じた独自の分類法がなければ正しい欠陥対策は実現しないことになる[10,11]．しかし，これまで整理・蓄積してきた鋳造欠陥情報をその都度蓄積し直すことは極めて困難であり，これらを有効に利用するためには，鋳造欠陥の細分類を各鋳造現場に応じて自由に変更できる事例整理方法が必要になる．

2．4　鋳造欠陥情報の視覚的整理システム

鋳造欠陥対策における的確な情報の迅速な参照を支援しようとする場合，従来以上に的確な情報を提供するためには，最新かつ最適な鋳造欠陥情報の追加と蓄積情報の再整理が容易に行える必要がある．しかし，ここで蓄積する鋳造欠陥情報は，文字情報とイメージ情報が混在し，文字情報には曖昧な表現が多く，表現形式や言葉そのものに意味のある場合が多いことから形式化データのように扱うことができない．これに対応するためにカード型データベースを利用した．

図 2.1 に示すように，鋳造欠陥対策においては，選択した自社情報や外部からの情報が，鋳造欠陥対策で最も重要な現場からの情報や鋳物からの情報と整合性のあるものでなくてはならない．従来の事例整理で使用されている鋳造欠陥の外観的特長による分類によれば，事例を参照しようとする行動が，鋳物からの情報を検証すると同時に鋳物からの情報と記載されている事例の整合性を確認することになる．鋳造欠陥情報の体系的な整理方法が見当たらない現状では，この分類方法の適用が最も現実的な方法と考えられる．

従来の事例整理は図 2.3 の概念図のように，外観的特徴を表す各ノードを，Yes，No（または“ある”，“ない”）のどちらかの意味を持つアークによって接続したデシジョンツリーに表すことができる．外観的特徴による分類では，各ノードは，そのノードが属するグループのある階層ごとに付けられた連続した番号によって代表される．この番号はノードを通過するごとにコードの末尾に付加され，最終的には欠陥の種類を表す番号になる．外観的特徴による分類では，先頭の分類（大分類，図中 A，B）にいくつかの特に象徴的な特徴（欠陥）を配置する．分類の末端（図中の欠陥名の位置）には，複数の事例写真とそれぞれの解説，簡潔にまとめられた欠陥の状況・発生個所・発生原因・対策例が記載された個々の欠陥情報が整理される．

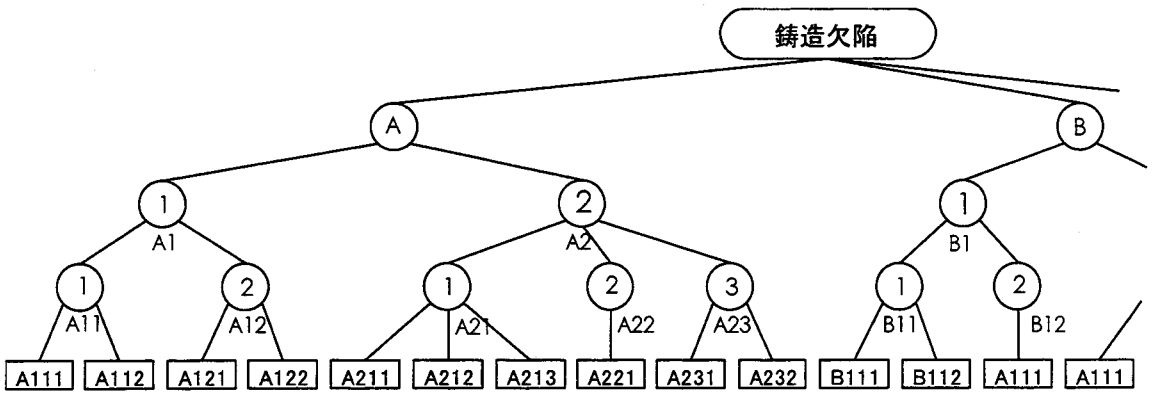


図2．3 外観的特長による欠陥分類の概念図

○：外観的特徴　□：欠陥名

このような 2 分岐の階層構造は if then 制御構造などによって比較的容易に構築することができる．しかし，従来以上に実用的な支援を行うためには，鋳造欠陥の細分類が鋳造現場に応じて自由に変更できなくてはならない．このためには，ノードとそれらの接続を自由に変更できることが必要になり，固定的なプログラムでは実現が困難である．そこで，これに対応するためにハイパーリンク技術を利用した．すなわち，一つの分岐条件をカード型データベースの 1 枚のカードとし，そこでの分岐をハイパーリンクによるカードの関連付けで実現するものである．ハイパーリンクは，人間が手作業でリンクを構築する必要があるが，この方法によれば鋳造現場に応じた欠陥分類の自由な作成と変更を実現できる．

ここでは，専門家による事例整理は存在するが，電子化の例は見当たらない銅合金の事例整理を参照して，次の手順で鋳造欠陥情報の視覚的整理システムを作成した．

まず，「銅合金鋳物の欠陥と対策」の整理手順を分析し，図 2.3 のようなツリー状に

表現する．ツリー上のノード部分が対話型の質問画面になる．そこで，ノードの数に相当するデータベースカードを用意して質問カードを作成する．質問カードには，質問画面の構成情報とノードにあたる外観的特徴の有無を問う質問文を登録する．このとき，質問を補完するための図表などが必要であれば画像ファイルとして保存しておき，該当する質問カードとの間にハイパーリンクを設定する．このようにして作成した質問カードを，ツリーの構造を確認しながら次々とリンクすればシステムの分類部分が完成する．

次に，ゴール（ツリーの末端）の数だけ用意したデータベースカードへ種々の鋳造欠陥情報を登録して，結果カードを作成する．このとき，分類結果として提示する自社情報や外部からの情報は，あらかじめ電子化しておき，必要ならば編集を加えて結果カードへコピーする．この結果カードから事例写真などの画像ファイルへハイパーリンクを設定すれば 1 件の鋳造欠陥情報が完成する．同じ鋳造欠陥に対して複数件の情報を保存したい場合には，必要な数の結果カードを作成し，それらの優先順位を考慮してリンクを設定する．最後に，ルールの各末端と該当する結果カードの間にリンクを設定すれば鋳造欠陥情報の視覚的整理システムが完成する．

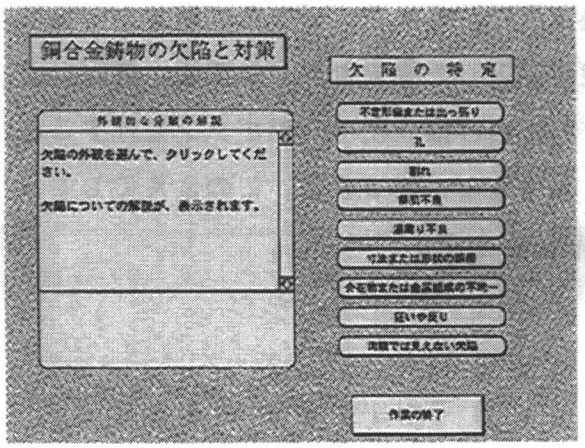


図2．4 メニュー画面

本システムの実行画面を図 2.4 から図 2.7 に示す．鋳造欠陥情報の参照は，問題となっている鋳造欠陥を特定することから始まる．図 2.4 は本システムのメニュー画面を示す．この画面は事例集の先頭の分類にあたる．図 2.5，図 2.6 のように，次々と質問を繰り返しながら問題となっている鋳造欠陥を絞り込む（分類

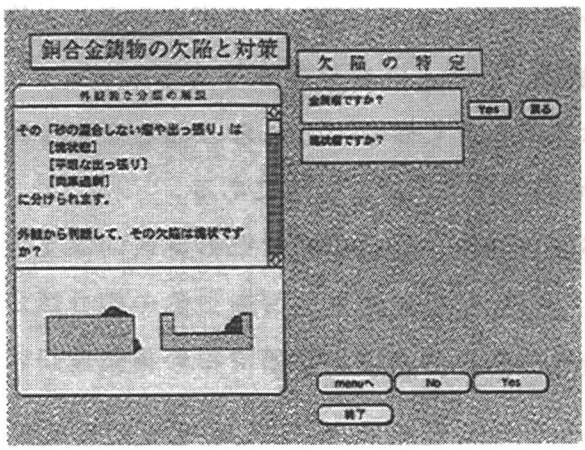


図2．5 質問画面(1)

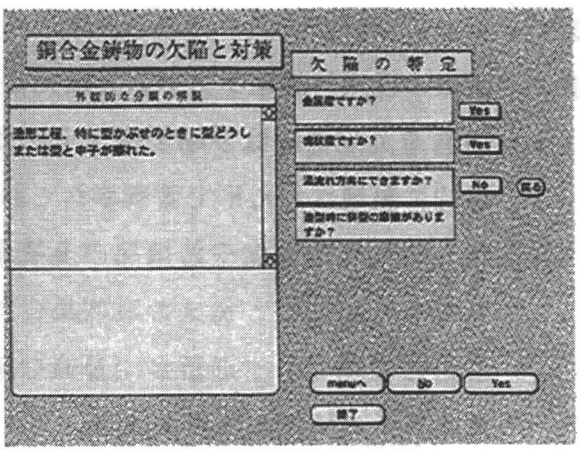


図2．6 質問画面(2)

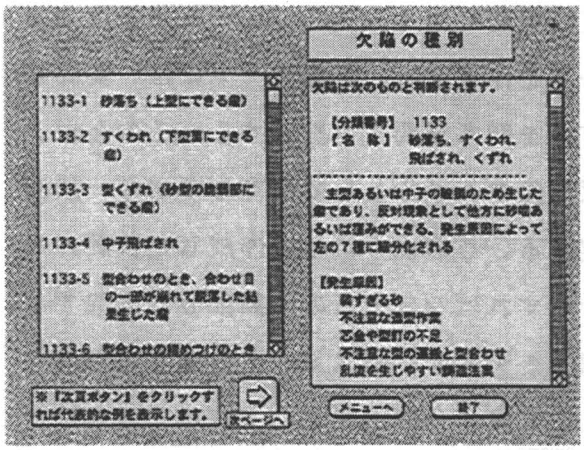


図2．7 欠陥情報画面（1）

図2．8 欠陥情報画面（2）

する）．質問画面では，現在の質問に至るまでの判断過程が表示され，これによって，欠陥情報へ到達した根拠を知ることができる．

目的の欠陥情報へ到達すると図 2.7 に示すような欠陥情報画面が表示される．欠陥番号 1133（砂落ち,すくわれ，飛ばされ，中子飛ばされ）のように，さらに幾つかの欠陥に細分類されるような場合には，全体的な解説を記入した結果カードの下に，詳細な情報を記入した複数枚の結果カードを順にリンクしておけば，次ページボタンを押すことによってそれぞれの詳細な説明画面に移ることができる．図 2.8 は，このようにしてリンクが設定された欠陥番号 1133-2 の詳細な説明画面を示す．

2．5 結言

鋳造欠陥情報の特徴と従来の事例整理方法について調査し，鋳造欠陥情報の整理・蓄積などをどのように実現すれば，的確な情報の迅速な抽出をコンピュータによって支援できるかについて検討し，カード型データベースとハイパーリンク技術を利用した鋳造欠陥情報の視覚的整理システムを開発した結果，次のことが分かった．

（1）鋳造造欠陥情報は多種多様なものが存在する．しかし，これらのほとんどは体系的に整理された形で蓄積されておらず再利用が困難な状態にある．

（2）新しい技術の開発や鋳造品の多様化が進む現在，鋳造欠陥対策の実用的な支援を行うためには，従来の事例集に対して鋳造現場に応じて鋳造欠陥の細分類が自由に変更でき，最新かつ最適な鋳造欠陥情報の追加と蓄積情報の再整理が容易に行える機能が要求される．

（3）技術者の求める的確な鋳造欠陥情報を迅速に分かりやすく提供することができ

る鋳造欠陥情報の視覚的整理システムを開発した．鋳造欠陥情報の体系的な整理方法が見あたらない現状では，コンピュータに与える分類ルールは過去の事例整理方法を参照して人間が手で作る必要がある．ここで述べたハイパーリンク技術とカード型データベース手法はこれを容易に実現し，コンピュータによる鋳造欠陥情報の整理・蓄積と迅速な抽出を可能にした．

参考文献

1) 日本鋳物協会訳：鋳物不良の原因と対策,丸善,(1955)

2) 日本総合鋳物センター編：銅合金鋳物の欠陥と対策,誠文堂新光社,(1966)

3) 国際鋳物技術委員会編：国際鋳物欠陥分類図集,日本鋳物協会,(1975)

4) 日本非鉄金属鋳物協会編：軽合金鋳物の欠陥写真集－欠陥と対策－,素形材センター,(1986)

5) 日本鋳物協会研究報告 65：鋳鋼品の表面欠陥とその欠陥対策,(1993)

6) 日本鋳物協会研究報告 74：ダイカストの鋳造欠陥と対策,(1996)

7) 山口忍　編：現場鋳造のテクニック実例集,新日本鋳鍛造協会,(1973)

8) 例えば，現場技術改善事例：日本鋳造工学会誌 鋳造工学

9) 堀井滋：日本強靭鋳鉄協会平成 7 年度技術講習会テキスト,(1996)1

10) 堤信久：鋳物，61(1989)852

11) 堤信久：日本鋳造工学会平成 10 年春季技術講習会テキスト,(1998)1

12) 菅野利猛：日本鋳造工学会平成 10 年春季技術講習会テキスト,(1998)27

13) 山内勇，大中逸雄："鋳造プロセスにおけるコンピュータの利用 -CAD/CAM/CAE-",中小企業事業団中小企業研究所,(1990)第 2 分冊 1

14) 坂野武男："鋳物工場の FA 化",中小企業事業団中小企業研究所,(1990)第 2 分冊 77

第３章　決定木による鋳造欠陥診断型エキスパートシステム

３．１　緒言

鋳造欠陥の発生に対しての的確な情報の提供とそれに基づく判断からその後の対策など鋳造技術の向上へと導くためには，鋳造欠陥を特定した理由や選択した鋳造欠陥情報の妥当性，経験的に得られた判断などが合理的に説明できることが必要になる．また，新しい欠陥対策が発見された場合にも，これを論理的に解析された新しい知識として蓄積する必要がある．こうすることで，導き出された判断や対策に，より説得力を持たせることが可能になるし，技術者育成のための教育的な効果や経験的な知識・技術の伝承も期待できる．

第２章で述べたように，専門家の知識を借りて鋳造欠陥情報を整理・蓄積することは可能であり，これによって的確な鋳造欠陥情報の選択を支援することができる．ここで作成した鋳造欠陥情報の視覚的整理システムは，コンピュータに与えたルールに従って質問と分岐を繰返し，適切な鋳造欠陥情報を提示するもので一種の診断型エキスパートシステムといえる．しかし，このシステムでは，鋳造欠陥情報の追加・再整理に伴う各鋳造現場に応じた分類ルールの再構築を人間が手作業で行う必要がある．

手作業によるルールの作成は，迅速な対応が困難であるだけでなく，作成者の意志や先入観もルールに反映されるおそれがある．そこで，鋳造欠陥をより論理的かつ迅速に再分類する方法の確立が強く望まれ，ルールの自動的生成に付いて早急に検討する必要がある．この問題に対応するための一つの方法として，エキスパートシェルを利用したルールの自動作成が考えられる [1-3]．エキスパートシェルは，専門家に代わってコンピュータが蓄積されたデータの持つ規則性や隠れた法則を見つけ出し，これによって専門家の判断をコンピュータに代行させるための論理展開を if then ルールの形式で生成する．このときには，専門家が収集した適切なデータをコンピュータ処理に適する形式に整理して与える必要がある．しかし，この方法によってこれまでに作成された鋳造分野の支援システムは，限られた範囲の成功例や基本思想が確立しているデータによってルールを作成しているものが多く，鋳造欠陥の分類に関する専門家の知識を対象にした例は見あたらない [4-11]．

そこで，本章では，鋳造欠陥情報から収集した多くのデータを，コンピュータが推論可能な形式に整える知識整理の方法について検討し，コンピュータによって鋳造欠陥の分類ルールを自動作成できる可能性について検討した．

3．2　鋳造欠陥に関する知識整理の手順

鋳造欠陥情報には数値化できるデータが少ないことや表現形式や言葉そのものに意味のある場合が多いことなどから一般的な分析手法[12,13]は当てはまりにくい．そこで，コンピュータにルールを作成させるために必要な情報は次の方法で得た．まず，「銅合金鋳物の欠陥と対策」などの鋳造欠陥情報から[14,15]，それぞれの鋳造欠陥の特定に決定的な影響をおよぼすと考えられる因子とその値を抽出する．このとき，エキスパートシェルでは因子を属性，値を属性値と呼ぶことが多い．

表 3.1 に，使用した属性の名称と意味の一覧を示す．属性としては，その現象の起こる位置，形状，分布などを取りあげ，属性値には具体的な場所などを取りあげた．また，複数の欠陥で共通の属性値を持つ属性については，その属性値をあらかじめ用意しておいた属性“共通-n”（n は番号）の属性値としても採用する．このとき採用した属性値に特徴などの補足説明があれば“共通-n 補足”の属性値として採用し，“共通-n”と“共通-n 補足”は一対で取り扱う．最後に“共通-1”から“共通-x”の間で出現頻度の

表3．1　属性一覧

No.	属性		内容	属性値の例
	共通	補足		
1	状況1		大区分の目安となる肉眼的な状況	こぶ，割れ，空孔
2		特徴1	状況1の特徴	不規則な(割れ)
3	状況2		中区分の目安となる肉眼的な状況	混合こぶ，金属こぶ
4		特徴2	状況2の特徴	金属と砂，金属
5	状況3		小区分の目安となる肉眼的な状況	出っ張り，塊状
6		特徴3	状況3の特徴	薄い，多孔質
7	形状		欠陥の形状	板状，こぶ，くぼみ
8	特徴4		その他の特徴(1)	滓化，解放孔
9	特徴5		その他の特徴(2)	緻密，内面青色
10	組織		特徴的な組織	デンドライト
11	サイズ		欠陥の大きさや厚み、深さ	大きい，2mm以上
12	発生位置1		欠陥の発生位置	内部，分割面
13		発生位置2	発生位置の詳しい情報	粒界沿い
14	分布		欠陥の分布状況	均等分布，単独
15	方向		欠陥の発生方向	表面に垂直
16	鋳肌		鋳肌の状態	流れ模様、正常
17	肉厚変化		欠陥の発生による鋳物の肉厚変化	増加，変化なし
18	鋳型変化		鋳型や中子の崩壊、亀裂などの発生	鋳型の割れ
19	砂噛み		砂噛みの発生	あり，なし
20	介在物		介在物の有無および種類	砂，非金属
21	介在物外観		介在物の外観	スラグと同じ
22	介在物組成		介在物の組成	反応スラグ
23	介在物反応		介在物を生成した反応	湯と型砂
24	結果		4桁の分類番号	1111～9000

高い属性から順に先頭へ移動させ，それぞれの属性名を属性値の内容を表す名称に変更すれば，収集したデータを類似の判断例グループに分類する際のキーワードが得られる．表 3.1 では，“状況 1”に対する“特徴 1”などが“共通-n”と“共通-n 補足”の関係にあたる．

表 3.2 は，このようにして抽出した属性と属性値の一部である．表中の“－”はデータが得られなかった箇所で“不明”を表わしている．また，属性値はできる限り収集した鋳造欠陥情報に忠実な表現とした．表 3.2 から，属性には多くの属性値を持つものとわずかの属性値しか持たないものがあり，属性値には明瞭な表現とあいまいな表現が混在していることが分かる．

表3. 2 属性と属性値の例

属性	サイズ	鋳肌	方向	発生位置1	
属性値	2～3mm以上	正常	型をゆるめた方向	ガス抜き不足部	中子合わせ目
	2～3mm以下	悪い	型の突張る方向	せき	中子表面
	数mm	粗い	心金の突張る方向	押湯付近	中子部
	大きい	しわ	全方向	押湯付け根	鋳物下部
	やや大	流れ模様	中子側	下型側	鋳ぐるみ付近
	厚い	浅い溝	中子の突張る方向	球状孔の中	湯口付近
	薄い	脈状溝	鋳型側	最後に凝固する部分	湯口から遠い
	細かい	わずかな隆起	湯流れ方向	凝固の遅い部分	湯先
	微細	非平滑肌	特定方向	型の脆弱部	内部
	浅い	焼きつき	肉厚に垂直	型の軟弱部	表面
	均一幅	金属こぶ	肉厚に水平	高温部	分割面
	不同幅	光沢	表面に垂直	樹枝状晶の間	不定
	－	－	不定	上型	ガス揚がり
			－	上型側	結晶粒界の間
				上型上部	冷やし金付近
				先鋭部	ケレン付近
				全体	ケレン周辺
				全面	－
				中子幅木	

使用したエキスパートシェルでは判断例からルールが導かれるので [3)]，抽出した属性値の組合せによってそれぞれの欠陥を表現した判断例を作成し，これを真理値表の形式にまとめればルールを発生させるために必要なデータを得ることができる．

表 3.3 に判断例の一部を示す．表中の空白部は，収集した鋳造欠陥情報からはデータを得ることができず不明であることを意味する．この表から，判断例や属性に不明の少ないものと多いものの混在や，分類グループによっては，ある特定の属性が全く不明であったり逆に非常に詳しく記入されていたりすることがわかる．ある属性がルールの決

定にどの程度の影響を与えるかはその属性の持つ属性値の数，真理値表の中で具体的な属性値が与えられる確率，各属性値の出現頻度などによって決まる．ここではこれらをパラメータとして属性の重要度を判断する際の一つの目安にした．表 3.4 は，それぞれの属性について属性値の数と具体的な属性値を持つ確率を大分類ごとにまとめたものの一部で，ここからも分類グループによってはある特定の属性が全く不明であったり逆に非常に詳しく記されていたりすることが確認できる．

ここでは，知識整理の第一段階として過去の事例の適用を検討しているが，このよう

表3．3 真理値表（一部）

状況1	特徴1	状況2	特徴2	状況3	特徴3	形状	特徴4	・・・・	サイズ	発生位置1	発生位置2	介在	結果
表面余肉	不規則厚	金属こぶ	金属	出っ張り		板状		・・・・	薄い	分割面			鋳ばり
表面余肉	不規則厚	金属こぶ	金属	出っ張り	湯の流出			・・・・		不定			型割れ
表面余肉	不規則厚	金属こぶ	金属	部分的膨らみ	湯の静圧	局部肥大		・・・・		鋳物下部			張り
表面余肉	不規則厚	金属こぶ	金属	塊状こぶ		こぶ		・・・・		上型側		砂	砂落ち
空孔・くぼみ		空孔(丸)	内面滑らか	球状孔		空孔		・・・・	2・3mm以上	冷金付近			ブローホール
空孔・くぼみ		空孔(丸)	内面滑らか	球状孔	含滓に付着	空孔		・・・・	2・3mm以下			非金属	ｽﾗｸﾞ･ﾌﾞﾛｰﾎｰﾙ
空孔・くぼみ		空孔(丸)	内面滑らか	くぼみ		くぼみ		・・・・	浅い	凝固の遅い部分			外びけ
空孔・くぼみ		空孔		収縮孔	下に後続孔	漏斗状	開放孔	・・・・		最後に凝固	頂・高温部		外びけ
割れ		亀裂	見える	継ぎ目	丸み	接着不良		・・・・		湯先			湯境
割れ		亀裂	見える	継ぎ目	丸み	接着不良	湯不足	・・・・		全面			湯境
割れ		亀裂	見える	継ぎ目	丸みなし	開放割れ		・・・・	不同幅	表面	粒界沿い		ひけ割れ
割れ		亀裂	見える	継ぎ目	丸みなし	開放割れ	酸化破面	・・・・	均一幅	表面	ひける部分		高温ひずみ割れ
鋳肌不良		隆起なし				粒界沿いくぼみ		・・・・	数mm	表面			ざく
部分欠落		不定型くぼみ	破面なし	湯回り悪い		角部丸み		・・・・		湯口から遠い	薄肉部		湯回り不良
部分欠落		不定型くぼみ	破面なし	湯不足				・・・・					入れ干し
部分欠落		不定型くぼみ	破面なし	湯もれ		内部空洞		・・・・					湯漏れ
誤差	健全鋳物	形状不正	形の不正	型かぶせミス	心の不一致			・・・・					心違い
介在物・組成	介在物	充てん物						・・・・	微細				ざく
介在物・組成	介在物	充てん物						・・・・		湯口付近		非金属	砂かみ
反り・狂い	形・寸法正		木型弱い		木型曲がり			・・・・				非金属	狂い
反り・狂い	形・寸法正		鋳型正確	鋳物の反り				・・・・					反り

・・・ ：省略

表3．4 属性の関連度表

欠陥名（事例件数）	状況1	特徴1	状況2	特徴2	状況3	特徴3	形状	特徴4	特徴5	サイズ
不定形瘤または出っ張り	1	1	2	2	4	2	6	5	5	2
（35事例）	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	88.6%	31.4%	14.3%	20.0%
孔	1		2	1	3	4	7	3	1	6
（30事例）	100.0%	0.0%	100.0%	50.0%	93.3%	30.0%	100.0%	30.0%	13.3%	56.7%
割れ	1		1	2	4	4	5	5	1	2
（15事例）	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%	53.3%	100.0%	53.3%	6.7%	46.7%
鋳肌不良	1		2		2	2	8	1		1
（15事例）	100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	33.3%	20.0%	73.3%	6.7%	0.0%	6.7%
湯回り不良	1		1	2	5	1	4	1		
（13事例）	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%	69.2%	7.7%	61.5%	7.7%	0.0%	0.0%
寸法・形状誤差	1	1	1	3	16	8		1		
（26事例）	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	92.3%	30.8%	0.0%	3.8%	0.0%	0.0%
介在物，金属組織の不均一	1	2	4		1	1	3	1		1
（24事例）	100.0%	100.0%	100.0%	0.0%	4.2%	4.2%	8.3%	20.8%	0.0%	4.2%
そりと狂い	1	1	2		4	5				
（8事例）	100.0%	100.0%	75.0%	0.0%	50.0%	62.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
肉眼では見えない欠陥	1	1								
（1事例）	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
合計	9	6	15	10	39	27	33	17	7	12
（167事例）	100.0%	56.3%	98.2%	62.3%	72.5%	26.3%	59.9%	19.8%	6.0%	19.8%

n	上段：属性値の数
m%	下段：属性値の出現率

な過去の事例では，それが編纂された当時，欠陥分類の自動化などは意識されておらず，コンピュータ処理にとって重要な同一フォーマットによる調査などの配慮がなされていない．また，そのような調査がなされたとしても，鋳造欠陥の実態把握に必要な，鋳込温度，鋳込時間，鋳型強度などの操業状況や，どのような欠陥が，いつ，どこに，どのように，どのくらい現れたかなどの欠陥発生に関与するさまざまな情報を，現場作業と平行して正確に収集することは極めて困難であり，記録漏れや不正確な情報の混入はどうしても避けることができない．これらのことが鋳造欠陥の判断例におけるデータ空白現象の原因となっている．このため，現状では，コンピュータ処理にとって不完全な情報に基づいてルールの自動生成を検討せざるを得ないことになる．

属性値が空白の属性は，その判断例において専門家が考慮していない可能性もあるし，属性値が存在しないのか属性値が存在したとしても他の理由から考慮する必要が無いのかも不明である．また，空白データの存在はルール生成の段階でコンピュータの推論過程に影響を及ぼすことが予想される．このため参考にした基礎データの妥当性もあらためて検討すべき課題になる．この点に関しては，今後さらに多くの鋳造欠陥情報を収集し，最近のシミュレーションや実験的データを基に検討していく必要がある．

3．3　エキスパートシェルによるルール作成の問題点と対策

3．3．1　エキスパートシェルによるルールの作成

このようにして得られたデータから作成され，システムの推論部分に組み込まれるルールは，論理展開における分岐の様子を示すものである．よってこの分岐はコンピュータに蓄積された多くの専門的知識を反映し，かつ十分に論理的なものでなくてはならない．このため，作成したルールを人間の理解できる決定木の形に表現して，ルールや基になったデータの妥当性を評価することが望まれる．

これに対応するため，ここでは英国 Atter Software Limited 製 XpertRule Proto-Typer（日本語版発売元　㈱第一コンピュータリソース）を使用してルールの作成を試みた．このエキスパートシェルは，属性値と結論の組合せで表現した判断例から規則を誘導するもので，医療の予備診断，最適な部品構成の決定，ローンの申請処理など，多くの分野で利用されている[15]．

表 3.3 の真理値表は，人間が専門的観点から鋳造欠陥の分類ルールを作成する場合の参考資料として満足できるものと思われる．しかし，エキスパートシェルによってルールを作成する場合にどの程度満足できるか，また，エキスパートシェルの利用はこのよ

うなルールの作成に有効かどうかは不明である．

多くの判断例に具体的な属性値が与えられていてしかも属性値の種類が少ない場合，その属性はルールの決定に与える影響が大きいと考えられる．そこでこのような属性を用いて XpertRule ProtoTyper でルールを発生させたところ図 3.1 に示すような分岐が得られた．この場合には，欠陥の各グループに共通な属性値によって分岐し，基準資料とした過去の分類事例の大分類，中分類 [14] とよい一致が見られた．

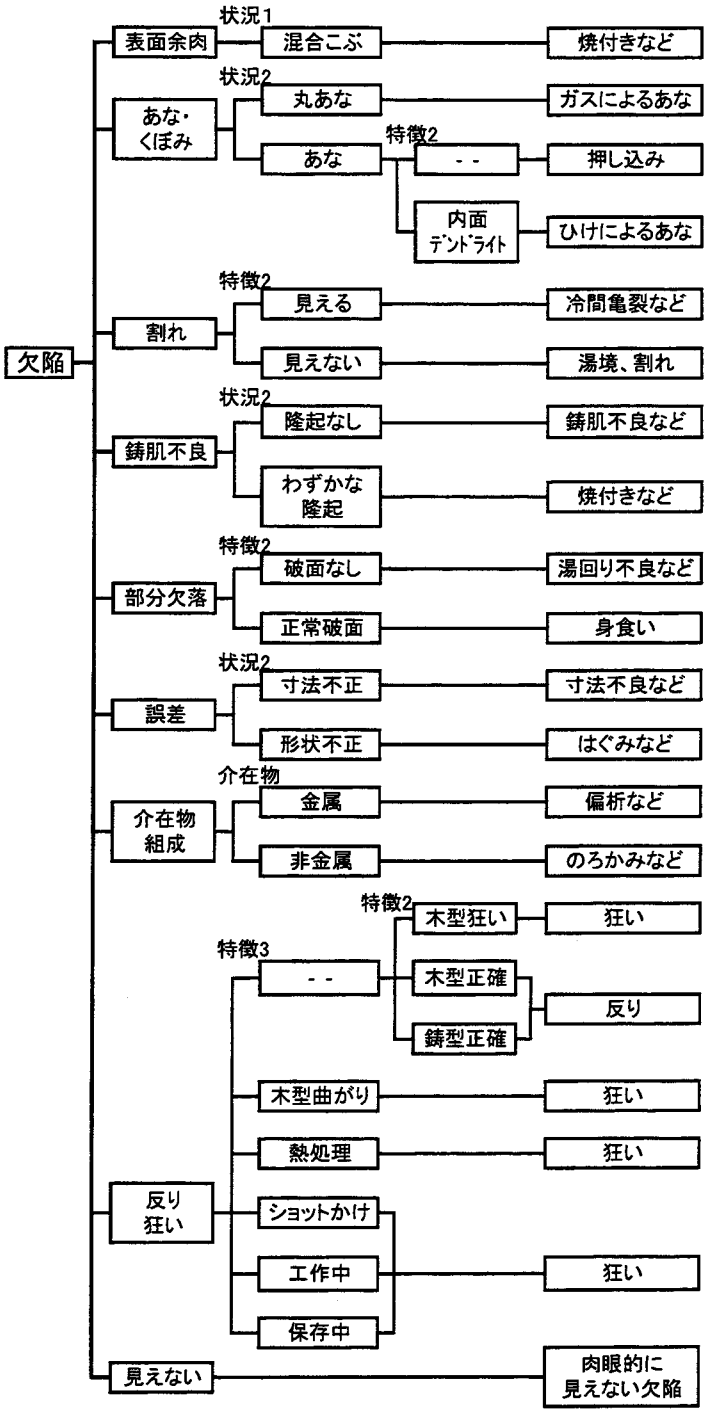


図3．1　エキスパートシェルによる分岐

次に，判断例をさらに増加して，多種の属性値を持つ属性やある属性の値が不明であるような判断例を多く含む真理値表に近いデータを与えたところ，属性の使用順位に変化が見られること，ルールの作成に際して反映されない属性が見られること，不明が一つの属性値として扱われることなど，従来の専門家による分類ルールとの間に明らかな相違が認められた．

先に示したような判断例群を使用して人間が分類する場合には，できる限り不明の少ない属性を優先して判断するかあるいは不明を判断の対象として扱わないと考えられる．また，判断の過程で必要に応じて他の属性による補足や確認をしながら作業を進めるであろう．しかし，使用したエキスパートシェル（XpertRule ProtoTyper）は，現在の分岐階層あるいは次の分岐階層で最も多くの結果を導き出せる属性の組合せを求めることで分岐を決定する．このため，人間ならばある判断の補助とするような属性や，分岐の末端でしか利用しないような属性も分岐の中心となる属性と同等に扱われてしまう．また，ある属性を判断の対象とする以前に結果へ到達できる場合には，その属性は使用されないことになってしまう．このようなシェルの特性から，専門家によるルールとエキスパートシェルによる分岐に相違が生じた原因として次の点が考えられる．割れと穴あるいは余肉など，全く性質の異なる欠陥のグループが複数混在する場合には，ある分類グループで有意義な属性であっても他の分類グループには全く寄与しない属性も含まれる．このことは，本来それぞれのグループで特定の傾向を示す属性値の種類や具体的な属性値が与えられる確率などを変化させて分岐に影響を与える．また，真理値表の判断例の記述が，分類グループによっては最適な属性の順序になっていない可能性もある．

試みに，先と同じ判断例を用いて単一グループごとにルールを作成したところ，各分類グループで属性の使用順序に相違が認められることから，複数グループの混在は明らかに分岐に影響を与えていることが確認された．従って，エキスパートシェルを用いてルールを作成する場合は，属性の重要度を考慮して，まず図 3.1 に示した大分類あるいは中分類までのルールを作成したあと，分類グループごとに詳細なルールを作成するのが好ましいといえる．こうすることで，その分類グループには寄与しない属性の影響を除くことが可能になる．しかし，この手順に従っても不明が一つの具体的な属性値として扱われる現象は阻止できず，専門家の作成したルールと属性の使用順序が必ずしも一致しない．そこで次に，グループ化した判断例に対して属性値“不明”の影響をできる限り軽減する知識整理を検討しなければならない．

3．3．2　属性の順序と属性値不明の影響

判断例に記述された属性の順序について検討を加えるために，判断例に修正を加えた．新しい判断例は，現在のデータからはそのグループの分岐に寄与しない属性を削除するとともに，解説文の記述順序や表 3.4 を参考に属性の順序を整理し直した．このようにして得られた割れ欠陥の判断例を表 3.5 に示す．この判断例をシェルに与えた場合でも不明が一つの属性値として扱われ，図 3.2 のルールが導き出される．この結果，グループ化と属性順位の変更だけではエキスパートシェルの特性を上回るほどの影響を与えることはできず，このままでは現存のデータから属性値不明の影響を受けないルールを得ることは困難であることが判明した．

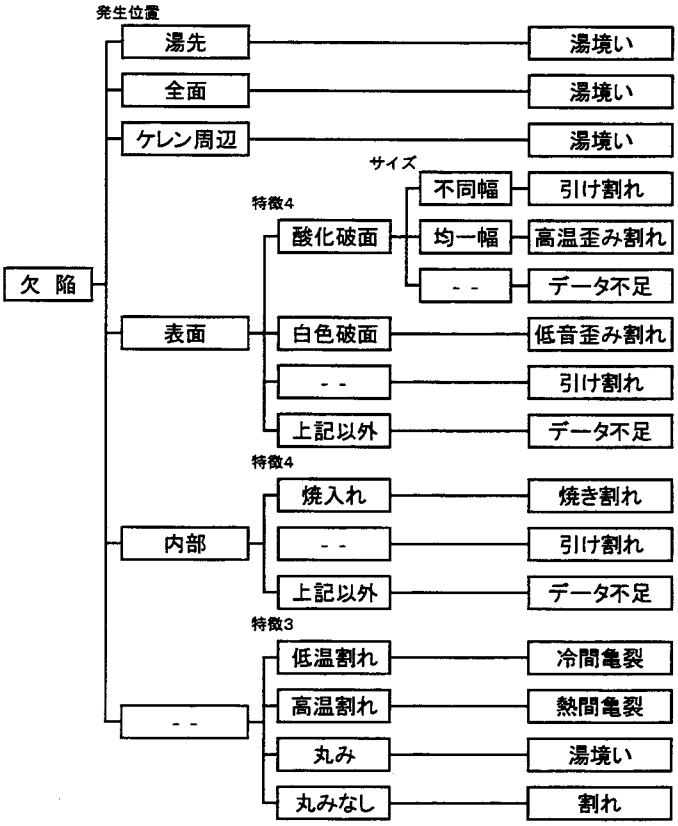


図3．2　エキスパートシェルによる分岐
（再整理した割れ欠陥の判断例を使用した例）

表3．5　再整理した割れ欠陥の判断例

属性	状況1	状況2	特徴2	状況3	特徴3	形状	発生位置1	特徴4	サイズ	発生位置2	方向	組織	結果
判断例	割れ	亀裂	見えない	破面非酸化	低温割れ	亀裂	- -	内部ひずみなし		- -	- -	- -	冷間亀裂
	割れ	亀裂	見えない	破面正常	低温割れ	亀裂	- -	内部ひずみなし		- -	- -	- -	冷間亀裂
	割れ	亀裂	見えない	破面酸化	高温割れ	亀裂	- -	内部ひずみなし		- -	- -	- -	熱間亀裂
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸み	接着不良	- -	- -		- -	- -	- -	湯境い
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸み	接着不良	湯先	- -		- -	肉厚に垂直	- -	湯境い
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸み	接着不良	全面	湯不足		- -	肉厚に水平	- -	湯境い
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸み	接着不良	ケレン周辺	- -		- -	- -	- -	湯境い
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸みなし	割れ	- -	- -		- -	- -	- -	割れ
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸みなし	開放割れ	表面	- -	不同幅	- -	- -	- -	引け割れ
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸みなし	開放割れ	表面	- -	不同幅	粒界沿い	- -	デンドライト	引け割れ
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸みなし	開放割れ	表面	酸化破面	不同幅	- -	- -	デンドライト	引け割れ
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸みなし	開放割れ	内部	- -	不同幅	ひける部分	- -	- -	引け割れ
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸みなし	開放割れ	表面	酸化破面	均一幅	ひける部分	- -	- -	高温歪み割れ
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸みなし	開放割れ	表面	白色破面	均一幅	ひける部分	- -	- -	低温歪み割れ
	割れ	亀裂	見える	継ぎ目	丸みなし	開放割れ	内部	焼入れ	不同幅	ひける部分	- -	- -	焼き割れ

データに今あるもの以上の充実が望めない場合の対策の一つとしてデータに重み付けをすることが考えられる．ここでは属性に重み付けをすることによってグループ内での属性の使用順序を指定することになる．この方法によれば，指定した属性へ強制的に分岐するため，人間の作成したルールにほぼ近いものが得られ“不明”の影響も少なくなる．しかし，ルールの生成段階で分岐の順序を指定することは操作する人間の意志が強く働くことになり，得られる分岐は客観的なものでなくなる恐れがあるので本質的には好ましい方法とはいえない．このため，シェルの性質も考慮した上でより客観的なルールの生成を目指したり，過去の判断例を再検討しようとするのであれば，できる限り多くの事例を参照して，そのグループが共通して持つべき属性のすべてに具体的な属性値を与え，真理値表の不明部分を埋めるようにしなくてはならない．また，資料から得られた属性あるいは属性値を採用するか否かについても，過去の習慣にとらわれることなく論理的に検討する必要があると思われる．

3．3．3　ルール生成で反映されない属性の対策

XpertRule ProtoTyper によるルール生成では，判断例としてコンピュータに与えたにもかかわらず分岐に反映されない属性がしばしば見受けられる．これは属性値不明の存在とともに，この点が人間の分岐とシェルの分岐に相違が現れることの原因になっている．

過去の資料には，分岐には直接関係しなくても，ある欠陥と他の欠陥を区別するために補足的に用いられる属性の記述が含まれている．これらを無視することは，経験的な知識を反映したルールの作成にとって適切とはいえず，また，新しい判断例を追加する必要が生じた場合に，それを基本となる分岐に柔軟に取込むためにも，現存する属性を反映しないようなルールの生成は好ましくない．このため，知識整理の段階で慎重な検討を経て採用された属性のすべてをシェルの分岐に反映させることが必要になる．

この対策について表 3.6 に示す簡単なモデルで検討する．この判断例の持つ属性と属

表3．6　反映されない属性について検討するための判断例

属性	状況1	特徴1	状況2	状況3	位置	方向	結果
判断例	表面余肉	不規則厚	金属こぶ	出っ張り	分割面	表面に垂直	鋳張り
	表面余肉	不規則厚	金属こぶ	出っ張り	鋳物下部	鋳型側	張り
	表面余肉	不規則厚	金属こぶ	部分的ふくれ	鋳物下部	中子側	張り
	表面余肉	不規則厚	金属こぶ	塊状こぶ	--	湯流れ方向	洗われ
	表面余肉	不規則厚	金属こぶ	塊状こぶ	--	--	砂落ち，すくわれ，飛ばされ
	表面余肉	不規則厚	混合こぶ	多孔質	先鋭部	--	焼きつき
	表面余肉	不規則厚	混合こぶ	多孔質	中子表面	--	焼きつき

表3．7　表3．6の属性と属性値

属性	状況1	特徴1	状況2	状況3	位置	方向	結果
属性値	表面余肉	不規則厚	金属こぶ	出っ張り	鋳物下部	表面に垂直	鋳張り
	その他	その他	混合こぶ	部分的ふくれ	先鋭部	湯流れ方向	張り
				塊状こぶ	中子表面	鋳型側	張り
				多孔質	分割面	中子側	洗われ
					-	-	砂落ち，すくわれ，飛ばされ
							焼きつき

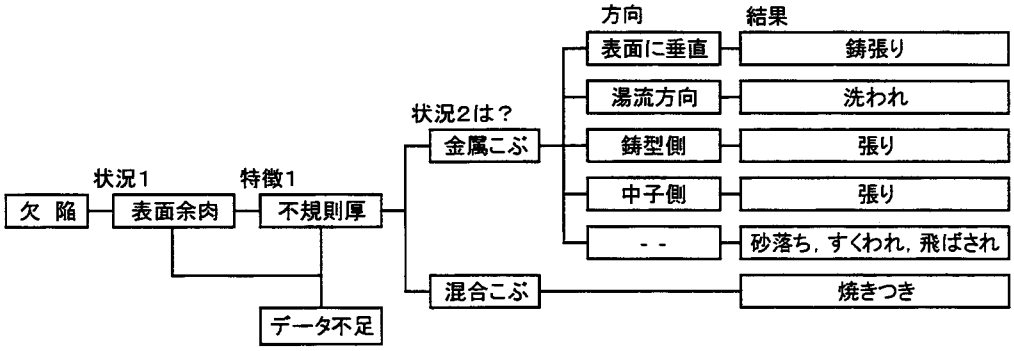


図3．3　エキスパートシェルによる表3.6の判断例の分岐

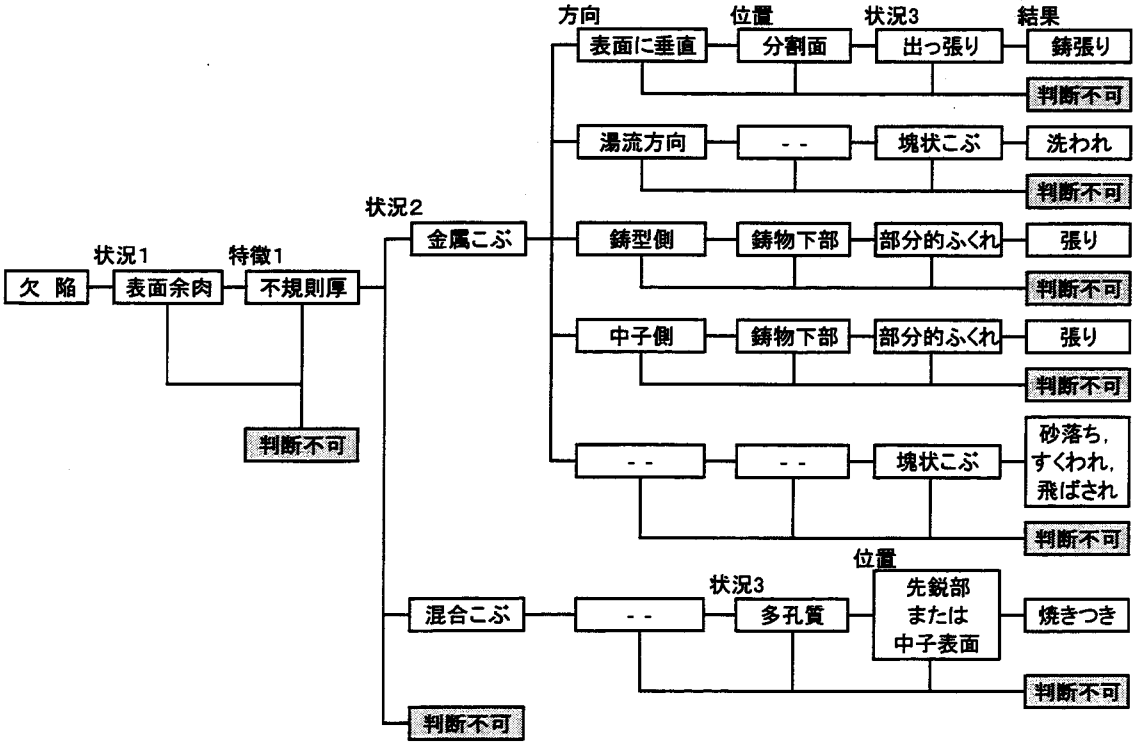


図3．4　エキスパートシェルによる表3.6の分岐
（すべての属性と属性値を使用した例）

性値および結果名の一覧を表 3.7 に示す．この判断例をシェルに与えると図 3.3 に示す分岐が得られ，“状況 3”および“位置”の二つの属性が分岐に反映されていないことが認められる．先に述べた重み付けの方法はこの場合においても有効に働くが，より客観的なルールの作成という観点から好ましい方法とはいえない．そこで，ここでは，与えられたすべての属性値の組合せにおいて現在の判断例以外は正しくないとして，結果“判断不可能”を誘導させる方法を試みた．この方法によれば，すべての組合せが出現することで生成するルールのサイズは大きくなるものの，決定木に表現すれば図 3.4 のように，人間の作成する分岐に近いものであることが確認できる．また，経験的分岐における判断要素である表 3.7 の属性と属性値をすべて含むとともに，シェルが作成した図 3.3 の合理的な分岐にも矛盾しないものが得られる．さらにこの方法は，人間の意志が介在しないことからも今後の知識整理に利用できる可能性が高い．

3．4　結言

鋳造欠陥情報から収集した専門家の知識を，コンピュータが推論可能な形式に整える知識整理の方法について検討し，コンピュータによって鋳造欠陥の分類ルールを自動作成できる可能性について検討した結果，次のことが分かった．

（1）鋳造欠陥情報から鋳造欠陥の分類に関する専門家の知識を収集し，これをコンピュータが推論可能な形式に整理することができた．ここで提案した知識整理の方法は，専門家の経験的な判断要素を属性と属性値に整理することで鋳造欠陥の分類ルールをコンピュータ処理によって作成することを可能にし，鋳造欠陥の合理的な分類ルールの自動作成を実現した．

（2）過去の鋳造欠陥情報は，人間の経験的判断にとって満足できるものであってもコンピュータ処理に必要な情報が欠落している場合が少なくない．このため，あらゆる鋳造現場に対応可能な，より実用的なルールの自動作成を目指すには，知識表現における属性の適切な選択とそれらの値の最適化および属性間の合理的な序列，判断例の“不明”部分に与える具体的な値について今後さらに広範囲な鋳造欠陥情報の収集と最近のシミュレーションや実験的データを基に検討する必要がある．

参考文献

1) B.R.Hathaway, R.G.Trimberger : Alloy Melting Expert System, Artificial Intelligence Applications in Materials Science, Ed. by R.J.Harrison and L.D.Roth, The Metallurgical Society,(1987)79

2) 小田悟，高木厚，西田理：技術情報,4(1988)1

3) 第一コンピュータリソース編：XpertRule ProtoTyper マニュアル,(1996)

4) 長坂悦敬，大中逸雄，村上俊彦：日本鋳造工学会全国講演大会概要集,128(1996)72

5) 牟禮雄二，山田宏作，福迫達一：鋳造工学,68(1996)766

6) NovacastAB : Casting Defect Analyser,Manual,Mitsui

7) 川崎重工(株)精機事業部：鋳物博士マニュアル,(1995)

8) J.L.Hill and T.Berry : Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes V, Ed. by M.Rappaz et al.(1991)321

9) A.Kulkarni, G.A.Stone : Casting Defect Analysis Expert System, AFS Transactions,100(1992)881

10) 大中逸雄："素形材生産プロセスにおけるエキスパートシステムの開発に関する調査研究（II）",素形材センター研究調査報告 367,(1989)

11) 山内勇，大中逸雄：日本鋳物協会関西支部平成 2 年春期講演会概要集,(1990)55

12) 田中豊，垂水共之，脇本和昌：パソコン統計解析ハンドブックII 多変量解析,共立出版,(1994)

13) 藤井雅文，中西正和：情報処理学会講演論文集(3),52(1996)113

14) 日本総合鋳物センター編：銅合金鋳物の欠陥と対策,誠文堂新光社,(1966)

15) Attar Software : XpertRule エキスパートシステム開発＆知識工学 CASE ツール,ラスカムカンパニー,(1994)

16) 日本鋳物協会研究報告 65：鋳鋼品の表面欠陥とその欠陥対策,(1993)

第４章　リレーショナルデータベース手法による鋳造欠陥情報の蓄積と共有化

４．１　緒言

第３章で述べたように，的確な欠陥対策を実現するためには，各工場で自社の鋳造品に応じた独自の知識整理を行うことが極めて重要であり，このためには，大量の鋳造欠陥情報を収集し，個々の現場における知識整理の最適な判断要素について慎重に検討する必要がある．また，熟練技術者の高齢化に加え若者の製造業離れが進むなか，多くの事例や経験的知識を収集・整理することは，欠陥対策技術の伝承にとっても重要なことといえる．そこで，収集したさまざまな鋳造欠陥情報を整理し，再利用し易い形で蓄積することができれば，欠陥対策における技術者の資産として多くの場面で有効活用することが可能になり，そのための技術開発が強く望まれる．

鋳造欠陥情報は，過去の資料から学協会誌に発表される最新記事や現場で残される様々な記録などの最新情報まで，幅広くまた多岐にわたって存在し，しかも日々増え続けている．これらは欠陥対策における最も重要な情報源であるが，印刷物や書類などの形で蓄積されるため，大量に蓄積されると必要な情報を探し出すことが困難になる．また，鋳造欠陥情報の中には，必ずしも論理的とはいえないものや経験的判断から導かれた結論だけが記録されているものもあり，このような情報は蓄積するだけではその後の対策に有効利用することができない．

一方，近年の IT 化の浸透は，これらの鋳造欠陥情報を日常活動の中で容易に電子データとして蓄積することを可能にした．なかでも，パソコンレベルで容易にデータベースを構築することができ多くの分野で利用されているリレーショナルデータベースは，プログラミングや管理が容易であり，ユーザにとって負荷の少ないシステムを構築することができる [1,2]．そこで，収集した鋳造欠陥情報に，対策を決定した理由や効果などの独自の記録を付け加えて電子データとして蓄積することができれば，より論理的な欠陥対策の知識として活用が可能になるばかりか技術者間の情報交換なども容易になり，今後の技術向上に大きく貢献することができる．

そこで，本章では，鋳造欠陥情報の有効利用を目的に，収集した鋳造欠陥情報をユーザ独自の技術情報を付け加えた電子情報とし蓄積するための鋳造欠陥情報蓄積システムと，インターネットを介して，有用な技術情報の共有と技術者間の情報交換や議論を実現するための鋳造欠陥情報共有システムについて検討した．

4．2 鋳造欠陥情報蓄積システム

鋳造欠陥に関する多様な情報を個々の鋳造現場で蓄積するために，リレーショナルデータベース技術[3,4]を利用して以下の鋳造欠陥情報蓄積システムを開発した．このシステムは，ユーザ独自の技術情報（以下，自社情報と呼ぶ）と文献などから抽出した技術情報（以下，文献情報と呼ぶ）の二つのテキスト情報，事例写真やイラストなど複数のイメージ情報，これらを管理するための管理情報をデータベースに蓄積する．管理情報では欠陥番号と慣用名称をインデックスとして利用する．機能として，鋳造欠陥情報の追加，修正，などを行うユーティリティと三つの検索参照機能（索引検索，キーワード検索，グループ検索）がある．これらの機能は図 4.1 のメニュー画面で選択することができる．

ユーティリティは，ユーザ固有の鋳造欠陥情報データベースを更新するための機能群であり，ユーザはこの機能を利用して，新しい欠陥に独自の番号と名称を付けて登録したり，既存の情報に対してさらに情報を書き加えたり，これを最新の情報と置き換えたりして，データベースを独自の鋳造欠陥情報集に発展させることができる．

これまでに無い新しい欠陥に関する情報を追加する場合は，図 4.2 のユーティリティメニューで“登録”を選択する．図 4.3 の新規登録画面では，必須事項の欠陥番号，慣用名称，ふりがなを入力する（図 4.3 左）．このとき，文献情報ファイル，自社情報ファイル，イラストファイル，事例写真ファイルなどが指定された方法で保存されていれば，システムは自動的にそれらを抽出してデータベースに登録する（図 4.3 右）．ここで自社情報ファイルとは，その欠陥に関するユーザ固有の技術情報を記したファイルを指す．

図4．1 鋳造欠陥情報蓄積システム
メニュー画面

図4．2 ユーティリティメニュー

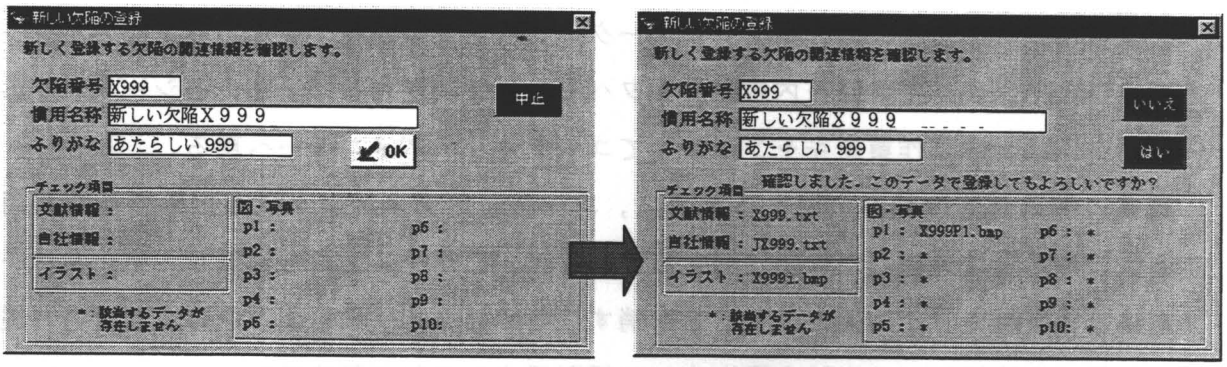


図4．3 新規登録画面例（左：必須項目の入力，右：関連ファイルの自動登録）

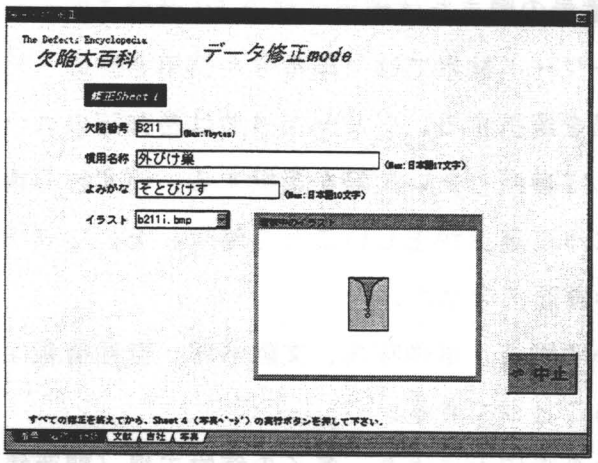


図4．4 修正画面例 (Sheet 1)

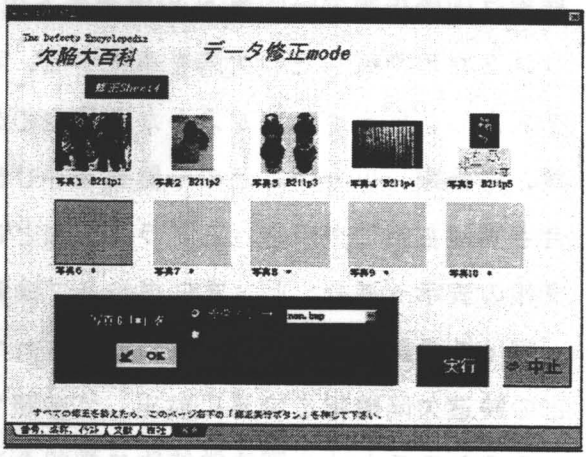


図4．5 修正画面例 (Sheet 4)

新しい対策が発見された場合など，既存の鋳造欠陥情報に変更を加える場合にはユーティリティの修正機能を利用する．修正画面は 4 枚のシートで構成され，図 4.4 に示す 1 枚目のシートでは欠陥番号や慣用名称の訂正とイラストの差し替えができる．イラストファイルはリストから選択することで容易に変更できる．2 枚目のシートでは文献情報の編集や差し替えができる．この画面でユーザは，登録済みの文献情報に対して加筆訂正することができる．また，より有用な文献を発見した場合や複数の文献を整理統合した場合は，それをテキストファイルに保存しておき，ファイル単位で差し替えることもできる．3 枚目のシートでは，自社情報に対して上記と同じ操作がおこなえる．

事例写真や図表などは，デジタルカメラやスキャナで撮り込んだイメージ情報として指定のフォルダに保存する．これらの登録と削除は図 4.5 に示す 4 枚目のシートでおこなう．事例写真の追加や変更を行う場合は，シート上の登録したい個所または変更したいサムネールをクリックした後，リストから新しい事例写真を選択する．シートには現在の状況がリアルタイムに表示され，ユーザは写真とその配置を確認しながら作業を進めることができる．

4 枚目のシート右下の実行ボタンはデータベースを更新する．すなわち，このボタンを押すことで，すべての修正内容がデータベースに反映される．また，各シート右下の中止ボタンは，修正作業をキャンセルしてユーティリティメニューへ戻る．

既存の鋳造欠陥情報を削除する場合は，ユーティリティメニューの削除機能を利用する．この処理は選択した欠陥に関する情報をデータベース上から消去し，データベース本体と各情報ファイル間のリンクを抹消するもので，データ自体は削除されない．従って，個々の情報ファイルは必要に応じて再利用することが可能である．

蓄積した鋳造欠陥情報を素早く参照するために，三つの検索機能を持たせた．索引検索は国際鋳物欠陥図集[5]の定義する欠陥番号の順または慣用名称の 50 音順に並んだリストから参照したい欠陥を選択する．キーワード検索では欠陥番号や慣用名称の一部を入力し，抽出されたリストから該当の欠陥を選択する．グループ検索は各欠陥の大分類，中分類，小分類ごとの一覧表を呼び出して参照したい欠陥を選択する．いずれの場合も画面右側に表示されるイラストなどによって選択が正しいことを確認したのち詳細情報の表示へ進む．図 4.6 にグループ検索の画面例を示す．

図 4.7 の詳細表示画面では，蓄積されている図表，事例写真，文献情報，自社情報などの鋳造欠陥情報を容易に抽出して参照することができる．

このシステムは全国銑鉄鋳物工業組合連合会の協力により，多くの鋳物工場（関西鋳物工業会，関東鋳物工業会，西日本鋳物協議会，東海北陸鋳物工業会，傘下の計 500 社余り）で試用され，その結果，鋳造現場での欠陥対策技術情報の蓄積と整理，欠陥発生時における鋳造欠陥情報の迅速な参照に有効であるとの評価を得た．また，(1)導き出された判断や対策に，より説得力を持たせることが可能になる，(2)具体的な解決策を与える技能面だけでなく，その本質である論理面を正確に伝えることが可能になる，

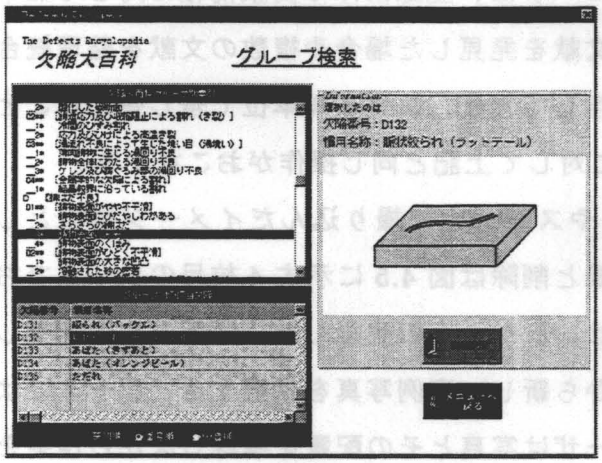


図4．6 グループ検索画面例

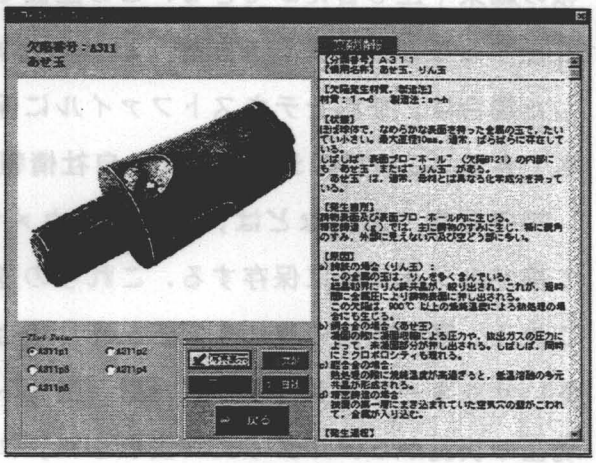


図4．7 詳細表示画面例

(3)技術者育成のための教育的効果や経験的知識や技術の伝承も期待できる，などの評価も得ることができた．

4．3　鋳造欠陥情報共有システム

鋳造欠陥情報蓄積システムは試用した企業から高い評価を得た．しかし，同時に寄せられた要望から，製品の多様化が進むなかで厳しい低コスト化，短納期化，高品質化の要求に対応するためには，従来のような鋳造欠陥情報の収集活動だけでは限界があり，より広範囲の情報を短時間のうちに収集できる技術が求められていることが分かった．具体的には，以下の要求を満たす機能の実現が強く望まれている．

1) 新しく発表された対策方法や理論あるいは新しく発見された鋳造欠陥に関する情報の定期的な供給．
2) より効率的な鋳造欠陥情報の蓄積と精度向上の支援．具体的には，ユーザがいつでも参照可能な信頼できる鋳造欠陥情報の提供とユーザ間で容易にデータの授受を可能にする機能の実現．
3) 時間や距離にとらわれず，ユーザ間で情報交換のできる環境の提供．具体的には，製品の多様化や海外との競争激化に対応するため，企業の枠を超えたリアルタイムな情報交換と問題解決のための自由な議論ができる場の提供．

これらの要求を実現する方法の一つとして，インターネットを利用した鋳造欠陥情報の共有化とバーチャルな議論の場の提供が考えられる．情報通信技術の急速な発達と通信回線の高速化が進む現在，これらを実現することはそれほど困難なことではない．またインターネット関連技術は今後ますます発展することが予想され，システムの進化も期待できる [6-10]．そこで，これらの機能を備え Web 上で動作する新しい鋳造欠陥情報共有システムの開発を検討した．Web 上に鋳造欠陥情報のデータベースを構築し，多くの企業，研究機関，大学がこれに参加するなら，データの多様化と精度の向上が期待できる．また時間と空間の制約がない環境で鋳造欠陥情報の共有と有効利用が可能になる．

一方，個々の企業においては，業務内容に適合した独自の鋳造欠陥情報の蓄積や，様々な理由から公開できない欠陥事例あるいは技術情報の蓄積も不可欠である．従って，個々に蓄積された鋳造欠陥情報と共有される鋳造欠陥情報は完全に独立し，かつユーザの自由な意思によって容易に情報交換ができなくてはならない．この点については，従来の鋳造欠陥情報蓄積システムを改修し，Web 上の共有システムとの連携を強化することで対応を試みた．両システムの関連を図 4.8 の運用概念図に示す．

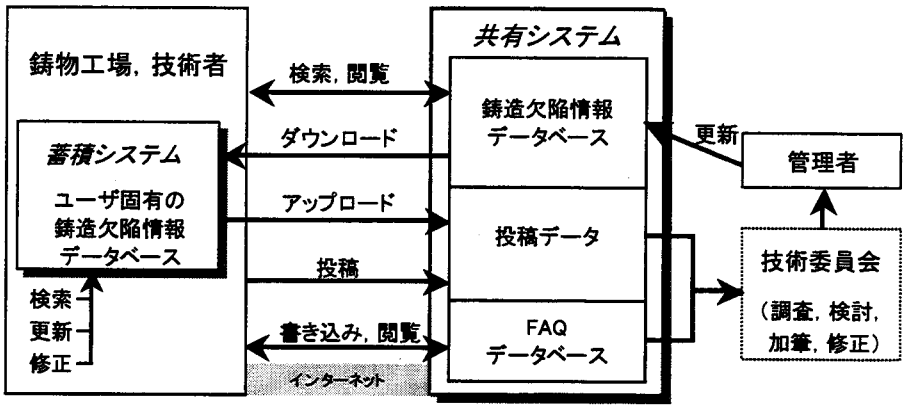


図4．8　共有システムと蓄積システムの運用概念図

鋳造欠陥情報共有システムは，4.2 章で述べた鋳造欠陥情報蓄積システム（以下，蓄積システムと呼ぶ）と同様の機能をインターネット上に実現するとともに，参加者が最新の話題や疑問などについて自由に議論できる場として Q&A 形式の掲示板機能を持つ．図 4.9 に鋳造欠陥情報共有システムの構成図を示す．

鋳造欠陥情報共有システムの操作方法は，可能な限り蓄積システムに近いものとし，利用者に違和感を持たせないよう配慮した．また，画面表示は鋳造現場での利用も考慮し，モバイルにも対応するように工夫した．

インターネット上に公開することから，鋳造欠陥情報共有システムでは悪意の改竄についても配慮する必要がある．ここでは二箇所にパスワードを設定 [11,12] することで対応している．また，ユーティリティに設定したパスワードは，セキュリティ面だけでなく，ユーザ権限と管理者権限の明確化も図る．これによって投稿（新しい鋳造欠陥情報の提供）のみ可能な参加者とデータベースに対してすべての更新権限を持つ管理者とが

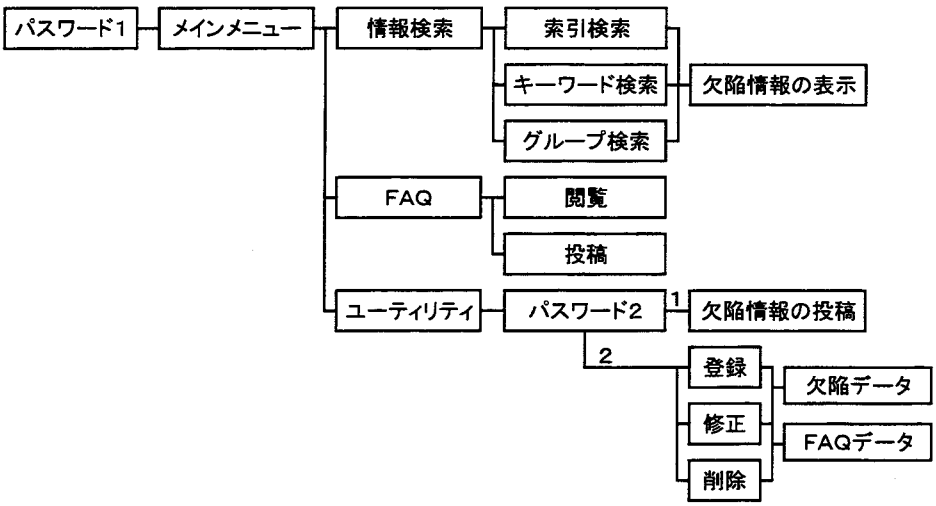


図4．9　鋳造欠陥情報共有システム構成図

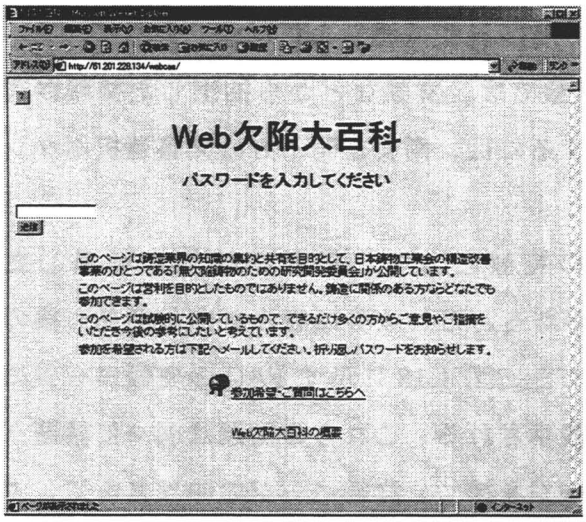


図4．10 鋳造欠陥情報共有システム
（トップ画面）

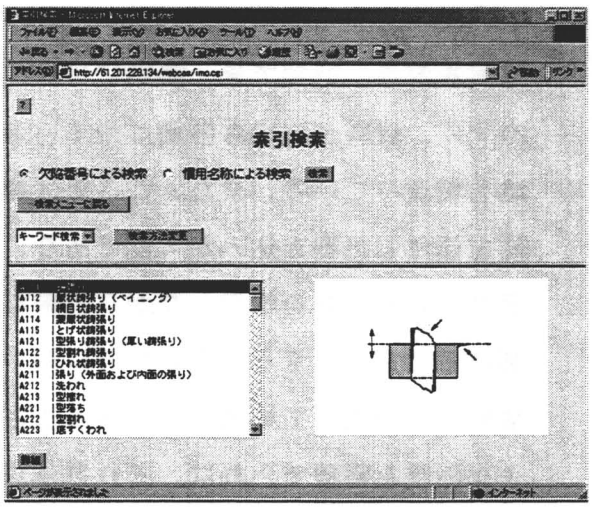


図4．11 索引検索画面例

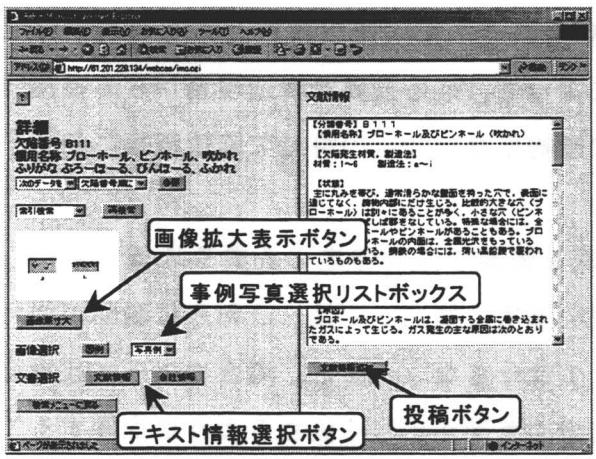


図4．12 詳細表示画面例

区別される．

ブラウザを起動して鋳造欠陥情報共有システムにアクセスすると，図4.10 のような試験公開中のトップページが表示される．ここでユーザパスワードを入力してメインメニューに入る．各ページ左上部には”？”ボタンが配置されている．ユーザはこのボタンを押すことで，そのページの操作説明などを参照することができる．

メインメニューからは検索，ユーティリティ，掲示板へ進むことができる．検索方法は 3 種類あり，蓄積システムと同様の操作でデータを検索することができる．図 4.11 に索引検索の画面例を示す．

図 4.12 の詳細表示画面は選択した欠陥についての詳細な情報を表示する．鋳造欠陥情報共有システムではここに二つの新しい機能を追加した．一つは投稿機能で，参加者にその欠陥に関する新しい情報の提供を可能する．このときは，テキスト領域の下方にある情報追加ボタンを押して投稿画面に移動する．投稿された情報は，複数の専門家が妥当性を検討した後，管理者によってデータベースに登録される．他の一つは参照機能で，隣接する欠陥番号あるいは類似の名称を持つ欠陥の参照を容易にする．

画面左側には縮小画像表示領域がある．ここには，初期状態で表示される欠陥のイラストのほか事例写真も表示

できる．事例写真はリストボックスから選択する．画像領域の下方にあるボタンを押すと新しいウインドウが開き，現在選択されている図表や事例写真が原寸で表示される．

画面右側にはテキスト領域がある．初期状態では，文献などから抽出した情報が表示される．参加者から寄せられた情報を参照するには，画面左側下方の文書選択ボタンで表示を切り替える．

鋳造欠陥情報共有システムの他の一つの特徴として，掲示板機能を利用したFAQ(Frequently Asked Question)コーナーがある．これは参加者の自由な意見交換の場として“鋳物談話室”的なイメージで設置した．図 4.13 に示す FAQ の先頭ページには，新規に書き込まれた話題が日付順に一覧表示される．これらの話題は個々に話題グループを形成し，それぞれが独立した詳細ページを持つ．詳細ページの中はさらに，本論と関連話題とにグループ化され，参加者の記述した文書はこの中の適切な位置へ自動的に蓄積される．このような文書整理を自動化することで，だれもが議論の進展を容易に把握でき，議論に参加しやすく，資料としても参照しやすい環境を実現している．また，ここでは画像を添付した書き込みが可能であり，図表や事例写真を提示しながら議論を深めることができる．ここでの議論や情報交換を通じて鋳物に関するさまざまな話題を蓄積できれば，それ自体が鋳造欠陥の知識集として大きな価値を持つ可能性が高い．

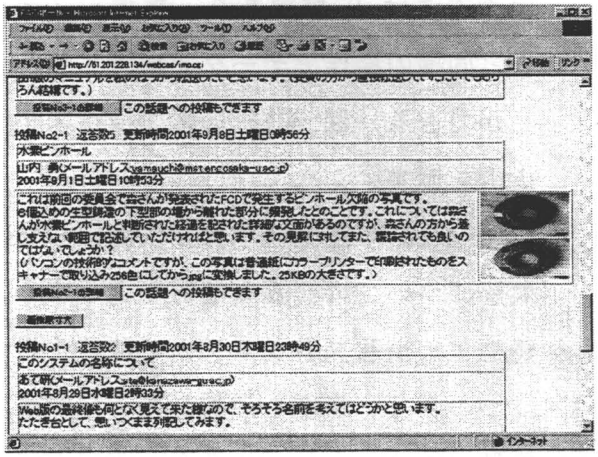


図4．13 FAQ 画面例

鋳造欠陥情報共有システムによって，多様な鋳造欠陥情報の蓄積と共有が可能になった．今後，より多くの鋳造関係者の参加によって，最も重要な鋳造現場からの技術情報を蓄積することができれば，時間と空間の制約のない独自の鋳造欠陥情報集に発展することも期待できる．

一方，鋳造欠陥に関する技術情報は，曖昧な表現のほか特定の企業や地域で用いられるローカルな表現を含むものが多い．実際の運用に当たっては，これらに説明が加えられ，誰もが正しく理解できるようにしなくてはならない．また，場合によっては投稿情報に論理的な解説を付け加えるなど，投稿者の意図が正しく伝わるように支援することも重要になる．そのためには今後多くの専門家（（社）日本鋳物工業会技術委員会ほか）の協力を得て，情報の信頼性向上に努める必要がある．こうすることで，今後の技

術向上も期待できる貴重な知識の共有化を実現できる．

4．4　結言

鋳造欠陥情報を有効に利用するために，ユーザ独自の情報を蓄積するための鋳造欠陥情報蓄積システムとインターネットを介して情報の共有化を実現するための鋳造欠陥情報共有システムを構築し，実際の鋳造現場で試用した．その結果，次のことが明らかになった．

（1）これらのシステムを利用することで，多様な鋳造欠陥情報の蓄積と共有が可能になり，鋳造技術の向上にとって最も重要な鋳造現場からの技術情報を知識として有効に活用することが可能になった．

（2）ここで開発した鋳造欠陥情報共有システムは，時間と空間の制約がない知識の共有，多様な鋳造欠情報の蓄積とその精度の向上，技術者同士のバーチャルな議論の場の提供を可能にした．

（3）実際の鋳造現場で本システムを試用した結果，以下の効果を確認できた．

- 鋳造現場での欠陥対策技術情報の蓄積と整理に有効である．
- 欠陥発生時における鋳造欠陥情報の迅速な参照に効果があり，欠陥の同定や対策の策定を支援できる．
- 導き出された判断や対策に論理性があり，より説得力を持たせることができる．
- 技術者育成のための教育的な効果や経験的な知識・技術の伝承に対する効果も認められる．

（4）鋳造欠陥情報共有システムの実運用に当たっては，情報の信頼性を高めるための努力と投稿者の意図を正しく伝えるための支援が必要になる．このためには，多くの鋳造専門家の協力を得る必要がある．

参考文献

1) 浦昭二：データ構造,共立出版,(1974)

2) 石畑清：アルゴリズムとデータ構造,岩波書店,(1992)

3) ボーランド株式会社：Visual dBase 開発者ガイド,(1997)

4) 村山集治：dBaseⅢテクニカル編,アコムインターナショナル,(1987)

5) 国際鋳物技術委員会編：国際鋳物欠陥分類図集,日本鋳物協会,(1975)

6) 村山純：インターネット,岩波書店,(1996)

7) 村山純：インターネットII,岩波書店,(1998)

8) 鶴田誠：CGI 入門,広文社,(2000)

9) 秋本祥一，古川剛：CGI プログラミング入門,翔泳社,(2000)

10) 増田若奈：Perl プログラミング for CGI,ディー・アート,(2000)

11) 白鳥則郎，高橋修，水野忠則，佐藤文明：コンピュータネットワーク,オーム社,(1997)

12) 佐々木良一：インターネットセキュリティ,岩波書店,(1999)

13) 遠藤俊徳：Perl/CGI,秀和システム,(2001)

14) 小池田恒行，広瀬良太：ISDN リモートルータ,アスキー出版局,(1999)

15) 日経 Linux 編：Linux サーバ構築運用実践ガイド,(2001)

第５章　自然言語処理による鋳造欠陥情報の検索

５．１　緒言

鋳造欠陥の発生に直面した場合に現場で残される記録（観察結果，原因についての考察，対策案，操業条件，参考資料，解決に至った経緯など）は貴重な技術資料であり担当者あるいは企業の知的資産の一つといえる．このような現場技術情報はじめ種々の鋳造欠陥情報を電子化データとして整理・蓄積する方法について第 4 章で述べた．また，雑多な技術情報から実体-関連モデル（Entity-Relationship Model）[1] や if then ルールというデータモデルに適合するものについて，第 2 章から第 4 章において，その取り扱いを検討した．

一方，自然言語でそのまま記録された資料を直接扱う方法についても検討しなければならない．特に，近年，業務の IT 化によって，日常活動の中での様々な出来事，文書，通信記録などが，ごく容易に電子データとして蓄積できるようになったことから，自然言語で表された記録が情報資源として活用できる環境が整った．本章では，現場で蓄積されたデジタル文書データ，特に鋳造欠陥に関するデータをそのまま利用し，有効な技術情報を的確に抽出するための方法論について検討した．対象として取り上げた鋳造欠陥の原因と対策についての文書データ群では，現場固有の言葉やあいまいな表現が多いという特徴がある．これに対して，テキストマイニング技術を用いた文書分析システムを開発し，技術文書の分類，検索，識別などをどのように実現し，知識として活用できるかについて検討した．

５．２　鋳造技術情報活用のための文書分析システム

５．２．１　鋳造技術情報の特徴と知識整理の方法

鋳造欠陥に関する技術情報の多くは表現形式や言葉そのものに意味のある場合が多く，曖昧な表現や類似語あるいは現場固有の表現を含むなどの特徴を持ち，構造化やモデル化の困難なデータといえる．このような情報群に対して一般的なデータベースやエキスパートシステムでは意図に合った検索や分類を期待することは極めて困難であり，新しい情報技術の導入が必要になる．この場合，現場固有の表現や曖昧な表現の存在も考慮し，文書解析ができることが望まれる．これに対して，ここではテキストマイニング [2-9] を利用した文書分析システムを開発した．

テキストマイニングは自然言語処理技術の一つで，コンピュータに蓄積した言葉の知識（単語・関連語・類似語等の関連性など）によって自然言語で書かれた文の意味的類似性や関連性を判断できる．もし鋳造分野の技術情報にこの技術を適用できれば，これまで活用困難であった多くの文献，メモなども客観的に処理できる可能性が高く，より広い範囲の技術情報から的確な情報を取り出すことができ，過去の資料の有効利用が期待できる．

5．2．2　文書分析システム

ここで開発した文書分析システムの概要を図 5.1 に示す．本システムは，知識データベース作成機能，文書関連度解析機能，知識マップ作成機能，関連度評価結果ビジュアル化機能を備えている．

（1）知識データベース作成および文書関連度解析

文書データから必要な情報を検索するための情報検索技術の一つとして統計的手法を利用した概念抽出があり，そこでは各文書がベクトル化される．もっとも基本的なベクトル化方法は文書内に出現する単語の出現頻度をもとに行うものであるが，その場合はすべての文書に出現する単語すべての数という高い次元（例えば 10 万次元）をもつベクトルになりデータ量が膨大になる [9]．しかし，一つの文書データに存在する単語の数は文書データ全体の単語数に比べると非常に少なく，文書ベクトルは要素に 0 の多いベクトルになる．このため，単語の意味や共起関係などの情報を用いるなどのベクトル空間の構造を利用してベクトルの次元を圧縮する研究が盛んに行われ，潜在的意味抽出法（LSI 法，Latent Semantic Indexing method）が最も広く使われている [10,11]．これは，特異値分解を用いて用語と文書間の関係行列を直交行列に分解し，行列の次元数を減らすことにより，共起性（後述）の高い語を一つに縮退する方法である．ここでは，この方法をもとに以下のように知識データベース作成および文書関連度解析を行った．

まず，いくつかの文書データから単語間の関連度を学習する．すなわち，与えられた各文書を単語に分解し，品詞分析を行う（形態素解析）．「て」，「に」，「を」，「は」などの助詞や句読点を省いて，名詞，動詞，形容詞，副詞を識別し，文書内における互いの単語の関連度を計算する．例えば，ある文書で「引け巣」という言葉の近くに「凝固」や「収縮」などの言葉が存在し，さらに別の文書で，「凝固」という言葉の近くに「液相」，「冷却」などの言葉があるとすると，「引け巣」，「凝固」，「冷却」という言葉は互いに関連があると判断できる．

関連の高い単語は文書の中で互いに近傍にしかも頻繁に出現するという性質（共起性）があることがわかっている[9]．そこで，多くの文書で出現したすべての単語に対して多次元ベクトル上での座標を決める．ここでのベクトルの方向は単語の意味として関連が近いものが集積したカテゴリを示す．例えば，鋳造技術に関する文書から単語を学習した場合には，鋳造方案，模型，鋳型，工場設備，鋳鉄，鋳鋼，銅合金，品質検査などのカテゴリごとに単語が集まり，図 5.2 に示すように全方位空間の中で各カテゴリを代表する方位を決めていく．このとき，カテゴリ間で関連が強い，弱いという互いの相対的な関係を反映して方位が決まる．結果として例えば，鋳造方案，模型，鋳型は工場設備にくらべて比較的近い方位を示すことになる．この方位は一つの軸として定義でき，この軸の数，すなわち次元数が多ければより詳細に単語の関係を表現できるが，後の計算時間が膨大になる．ここでは実用的見地から約 300 次元の軸ですべての単語を配置するようにしている．結果として関連が深い単語はこのベクトル空間上で近い位置に配置される．この単語群と多次元ベクトルにおける位置データを「知識データベース」として格納する[9]．この概要を図 5.2 に示す．

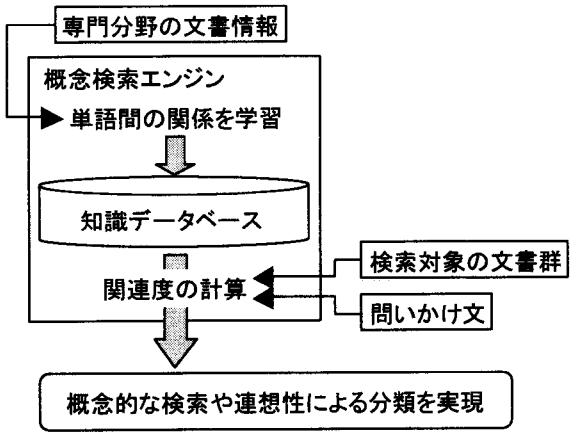


図5．1　文書分析システムの概要

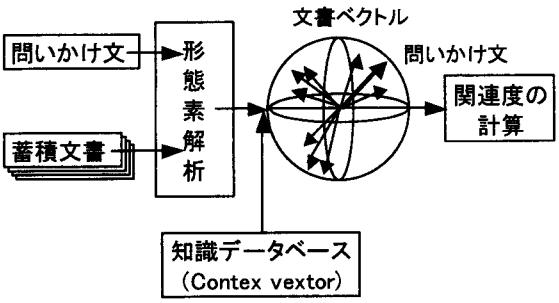


図5．2　関連度の計算

次に，個々の文書について，知識データベースと突き合わせ，その文書に含まれるすべての単語ベクトルを認識した後，それらの合成ベクトルとして文書ベクトルを計算する．二つの文書の関連度はこの文書ベクトルの内積を計算することで求められる．つまり，まったく方向も大きさも同じであれば 1，垂直に交わっていれば 0 となる．

既存のテキストマイニングエンジンは，辞書ファイルと称するものに予め網羅的に単語を収集し多次元ベクトルの成分値を設定しておかなければならないものがほとんどである．この作業をエンドユーザが行うのは容易ではなく，結局，分野ごとに用意された専門辞書ファイルを利用することになる．その場合には現場特有の表現や最新の文献

から得られる単語などは扱えないという問題がある．ここでは多くの文書を学習して専門辞書を自動的に作成することで解決できた．

（2）知識マップおよび文書関連度ビジュアル化技術

知識データベースから「知識マップ」を作成する．知識マップとはエンドユーザの表示したい専門分野についてのみ代表単語を抽出・分類し，2 次元平面上に関連があるものが近い位置になるように配置して表示するものである．このために，指定した数のグループに自動分類する方法と知識マップに表現したい複数のカテゴリについて典型的な単語群あるいは文書を入力しエンドユーザが表現したい分野のマップを作成する方法を考えた．

ここでは鋳造欠陥に関する文書分析のために日本鋳造工学会誌の現場技術改善事例（62 件，1993 年 3 月～2001 年 11 月）および国際鋳物欠陥図集 [12]（合わせて約 250,000 文字）を与えて知識データベースを作成した．図 5.3 は複数の格納フォルダを

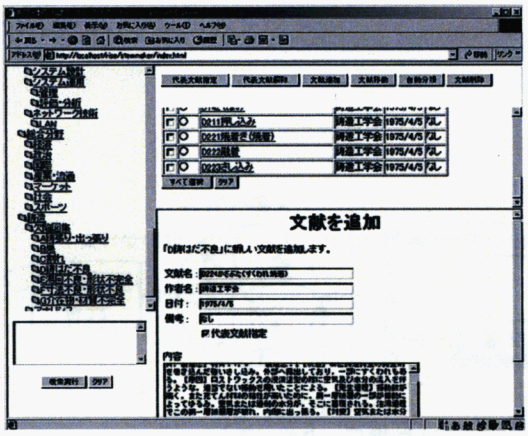


図5．3 文書登録画面

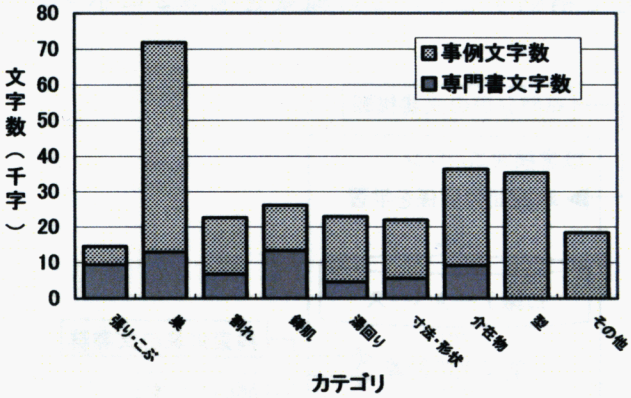
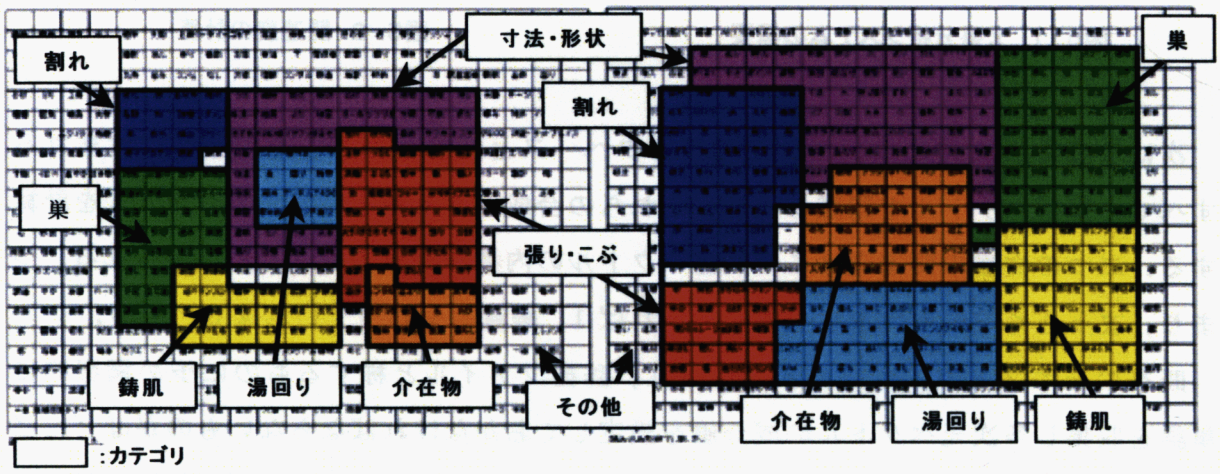


図5．4 登録文書の詳細



(a) 新聞記事による学習　　(b) 鋳造工学会誌と国際鋳物欠陥図集による学

図5．5 新聞記事による学習と鋳造専門分野情報による学習の知識マップの相違

用意し，適宜分類して文書を登録している例を示す．図 5.4 は知識データベースに格納された鋳造欠陥に関連する単語の検証例を示す．さらに図 5.5 に知識マップの例を示す．知識マップを参照すれば与えた文書からどの分野に関連する単語をどの程度学習できたかなど，知識データベースの充実度を視覚的に確認することができる．当然の結果であるが，図 5.4，5.5 では，新聞記事のみによる知識データベースと鋳造専門分野情報から得られた知識データベースでは鋳造欠陥に関する単語量が大きく異なることがわかる．これは，本システムによって，各現場固有の知識データベースが容易に構築できることを示している．知識マップは文書間の関連度の評価結果をビジュアル化する手段としても極めて有効である．また，未加工（オペレータによる意識的な加工の無い原文のまま）のデータを有効に利用でき，客観性の維持も実現している．さらに，検索対象となる各文書について，複数の問いかけ文書との関連度を同時に計算し，その結果をレーダーチャートに表示できるようにした．従来，多くの事例文書やコメント，メモの中にどのような内容が含まれているかは読まなければ分からなかった．本技術を利用すれば，対象となった文書が各問いかけ文書のどれに関連があるか一目で識別でき，より迅速に文書群全体の内容把握や欲しい文書の検索が可能になる．

5．3　概念検索と検索結果の評価

生成した知識データベースの妥当性と鋳造分野における文書分析の有用性を検討するために，欠陥対策技術文書の検索を試みた．

ここでは欠陥の状況と対策方法を同時に問いかけ，用意した 25 件の改善事例の中から適切な事例を検索させることで評価を試みた．このとき具体的な問いかけ文として以下の Q1，Q2 を与えた．また各事例を管理するために 8 桁の事例番号（Vol. No.＋発行月＋開始ページ）を付加した．

Q1：「製品の隅角部に多くの巣が発生する．吹かれまたはピンホールと思われる．」

Q2：「鋳造方案と FC 材の注湯温度で対策して改善．」

検索結果は問いかけ文との関連度として返されるので図 5.6 のように整理することができる．関連度が大きな値を示す事例は二つの問いかけと内容的に近いことが予想される．

関連度が上位にランクされた事例（事例番号 V7004288，V6504346）はそれぞれ以下の内容であった．

V7004288（関連度=52）：FC 材製品の隅角部に多発する巣を，注湯温度と方案（堰，押湯）によって対策した事例．

V6504346（関連度=50）：FC 材，FCD 材の製品に発生する内引け巣やピンホール

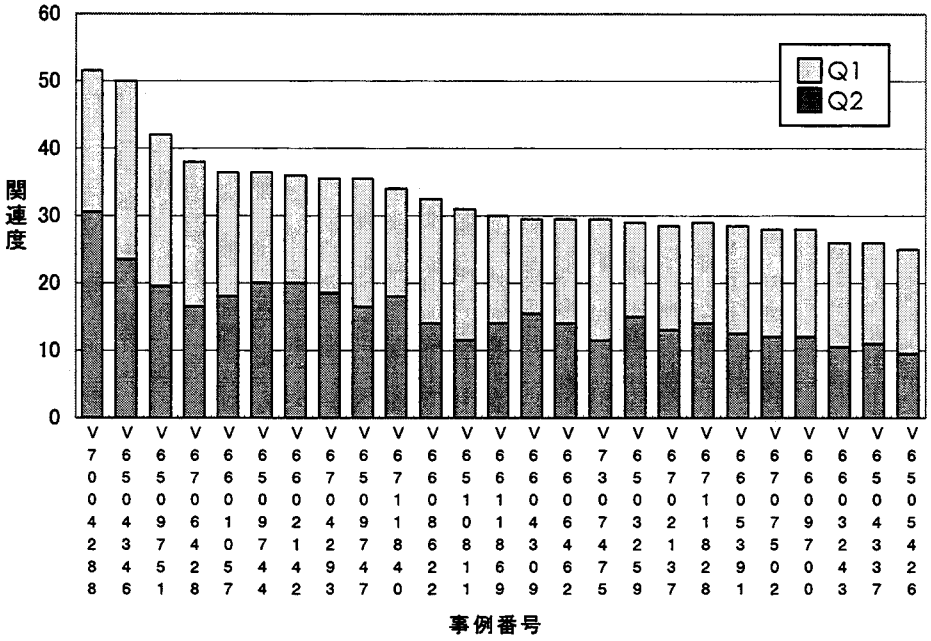


図5．6 問いかけ文に対する関連度

を，押湯形状，湯道方案，冷し金，溶湯成分，鋳込み温度で対策した事例．

各事例の特徴的な段落（＝高い関連度を示す段落）は次のようなものであった．

V7004288：「不良の発生箇所はなべの隅角部で，顕微鏡写真からこの不良は巣であると判断した．」，「鋳造方案は，溶湯を押し上げる形状とし堰の数は 4 本，上部取って部には押湯をつける．」

V6504346：「材質はＦＣ，ＦＣＤ，合金鋳鉄，アルミニウム合金，低膨張鋳鉄等多岐にわたっている．」，「いわゆる一次凝固収縮に対しては溶湯補給がされているが，その後，ネック部が凝固し，二次収縮に対しての溶湯補給が不足し，内引け巣欠陥につながったものと考えた．」

結果として，問いかけによく合致した文書を検索できたと判断され，生成した知識データベースが妥当なもので概念検索が有効に機能していると考えられる．

このように，本方法によって生成した知識データベースを使えば鋳造分野における概念検索が可能になり，問いかけの趣旨に沿った検索が実現する．これまでの手法によってこの例と同様の検索を実行しようとすれば，専門家の知識によってすべての情報を分解してデータベース化する必要がある．この場合は膨大な時間と鋳造の専門的知識の他に情報処理の知識が要求される．また，データの増減などに柔軟に対応することが困難なだけでなく，人間が介在することで客観性が乏しくなる恐れもある．

5．4　従来のキーワード検索と本検索手法の比較

大量の文字情報の中から目的の単語を検索する方法の一つにキーワード検索がある．キーワード検索は最も一般的な検索手法としてワープロやエディタでの検索機能としてのみならず専用のアプリケーションツールとしても提供されており，誰でも比較的容易に利用することができる．そこで，鋳造分野の技術情報にキーワード検索と本システムでの検索を適用してその結果を比較する．

検索対象に前項と同じ文書群を使用し，キーワードと問いかけに次の語句を与える．

Example1：「引け巣」

Example2：「引け巣，ひけ巣，収縮，厚肉部」

Example3：「引け巣，ひけ巣，収縮，厚肉部，鋳物の表面又は内部に主として溶湯の凝固収縮により生じる粗い内壁をもつ空洞．鋳物の肉厚部のような最終凝固部に生じる．=収縮巣」[13)]

結果を表 5.1 に示す．表は本システムの返す関連度と順位，果単語検索の返すキーワードとの合致数（検索個数）と合致数による順位付けを示す．

事前の調査で，先頭から 10 番目までが引け巣あるいは引け巣に関連した記述を含む

概念検索						現場技術改善事例（鋳造工学会誌）		キーワード検索			
Example1		Example2		Example3				Example1		Example2	
関連度	順位	関連度	順位	関連度	順位	事例番号	題名	順位	合致数	順位	合致数
89	1	80	2	72	1	V6504346	シリンダ鋳巣不	2	7 words	5	7 words
64	4	77	3	69	2	V6602142	インテークマニ		0	4	10 words
87	2	82	1	64	3	V6711840	エンジン吸気系	1	12 words	3	12 words
64	5	77	4	62	4	V6509751	マニホルドイン		0	1	21 words
78	3	70	5	59	5	V6706428	インテークマニ	3	3 words	2	15 words
56	6	53	7	49	6	V6606462	コンプレッサマ		0		0
50	7	55	6	46	7	V6509744	小型トラックエ		0	6	1 words
41	8	49	8	44	8	V7004288	すき焼きなべの		0		0
37	9	47	9	44	9	V6704293	ポンプケースの		0		0
34	10	47	10	44	10	V6509747	ベアリングハウ		0		0
29	14	42	11	41	11	V6711828	T型曲管の砂か		0		0
34	11	39	12	39	12	V6707502	カムシャフトの		0		0
26	17	38	14	39	13	V6611869	ケーストランス		0		0
22	23	35	15	38	14	V6604309	静圧造型機に		0		0
31	13	39	13	38	15	V6503259	Vプロセスの型		0		0
24	20	33	17	37	16	V6510811	新V6シリンダ		0		0
29	15	35	16	35	17	V6609700	ナックルステア		0		0
25	19	32	20	34	18	V6608622	ピアノフレーム		0		0
31	12	31	21	34	19	V6505426	耐摩耗複合鋳		0	6	1 words
28	16	33	18	34	20	V7307475	鋳型砂の水分		0		0

表5．1　概念検索結果とキーワード検索結果の比較

事例であることが分かっている．

上位 5 番までは単語検索も本システムでの検索結果も引け巣に関する事例という点で一致しているが順位は大きく異なっている．この理由として，本システムでは関連語も含めて文書の意味を評価するのに対し単語検索は完全一致検索のため例えば「ひけ」や「外引け」などの表現があっても無視されること，また文書の意味は考慮されないこと，単語検索では検索語の有る無しが結果として返されるために合致数（検索個数）で順位付けした場合には仮に無意味にその単語が繰り返されていても上位になってしまうことなどが挙げられる．

同様の理由で 8〜10 番は文中にこの四つの単語のどれとも合致する記述が無いために単語検索では無視される．これとは逆に 19 番は「凝固収縮した鋳型壁の隙間に」という表現が 1 箇所あるだけで，引け巣とは全く関係の無い変形不良の事例であるにもかかわらず単語検索では該当する事例として扱われてしまう．

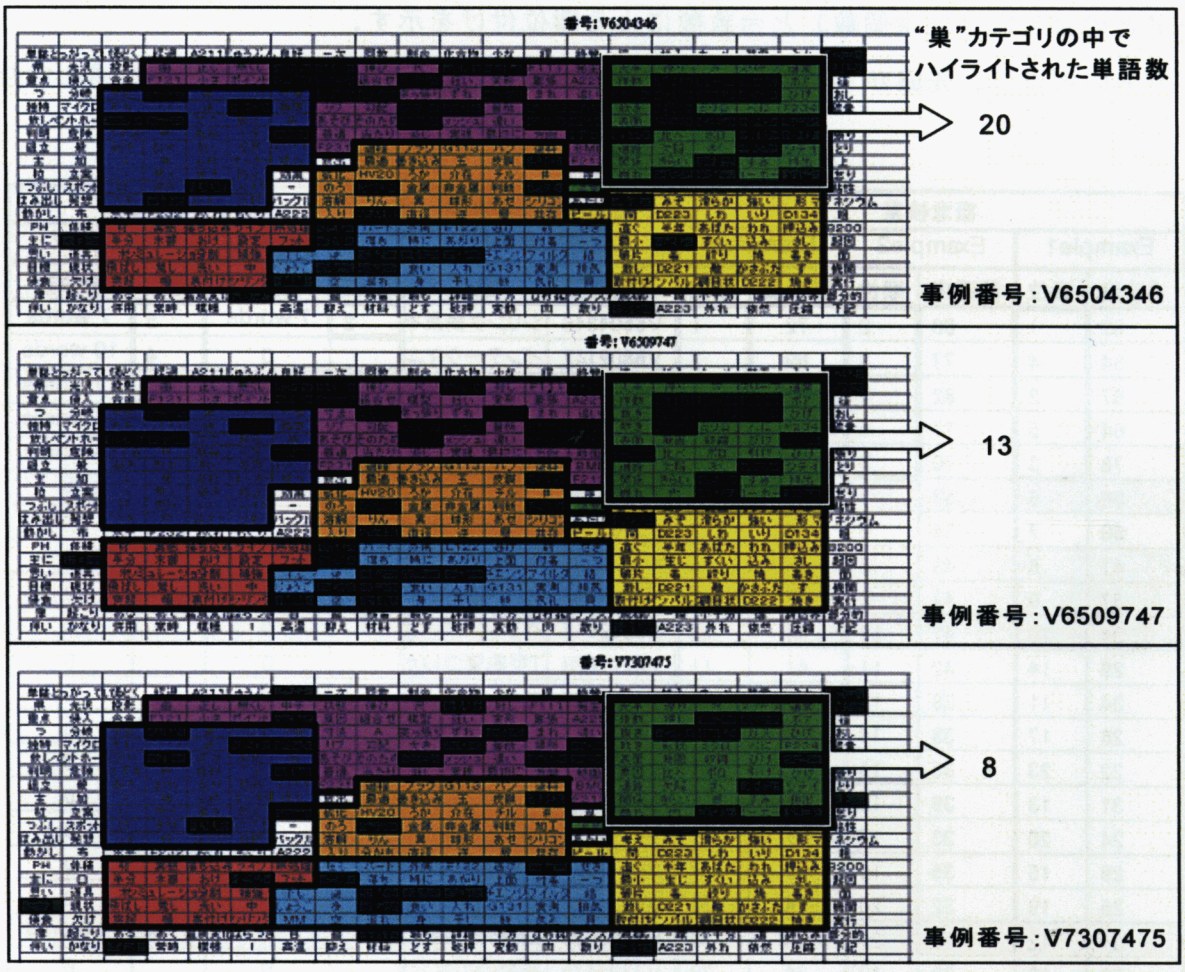


図5．7　知識マップの例

これ以上に詳細な検索をおこなおうとすれば，単語検索では類似語・関連語を漏れなく入力する必要があり，一部の専門家を除いて現実的な方法とはいえない．これに対して本システムでは関連語も含めて検索できるため，知識データベースを充実することで，あいまいな問いかけでも検索が可能になる．

本システムでは検索結果が関連度で（数値化して）返されるので，根拠のビジュアル化が容易である．図 5.7 には一つの文書を知識マップに重ね，関連する単語がハイライト表示された例を示す．黒く塗り潰されたように見える個所がハイライトされた単語を示す．図は表 5.1 の本システムによる検索例 Example3 に対応しており，上から 1 位，10 位，20 位にランクされた文を知識マップに重ねた例である．順位の低い文は巣関連のハイライトが少ないか，他のカテゴリにハイライトの多いことが確認できる．また，調査に優先順位を付けることも可能になる．この例では，単語検索の場合は少なくともこれら七つの事例文書すべてを読まなければ最適の事例を選択できないが，本システムの結果を参照すれば，早い時点で最適の事例を得ることができる．

5．5　技術情報の概念検索例

本システムの特徴を利用すれば文献の識別も可能になる．
例えば，内容の不明な文書に対して幾つかの問いかけをして，その関連度の評価結果を図 5.8 のようなレーダーチャートに表すことで，その文書がどのような話題について書かれたものかを視覚的に知ることができる．

図 5.8 は無作為に抽出した三つの現場技術改善事例に七つの問いかけをした結果を示している．この例では，事例番号 V6509744 は「小型トラックエンジン用クランクケースのボア巣の低減」で溶湯対策についての記述があり，事例番号 V6505426 は「耐摩耗複合鋳造品の変形不良の低減」，事例番号 V6608622 は「ピアノフレームブロー

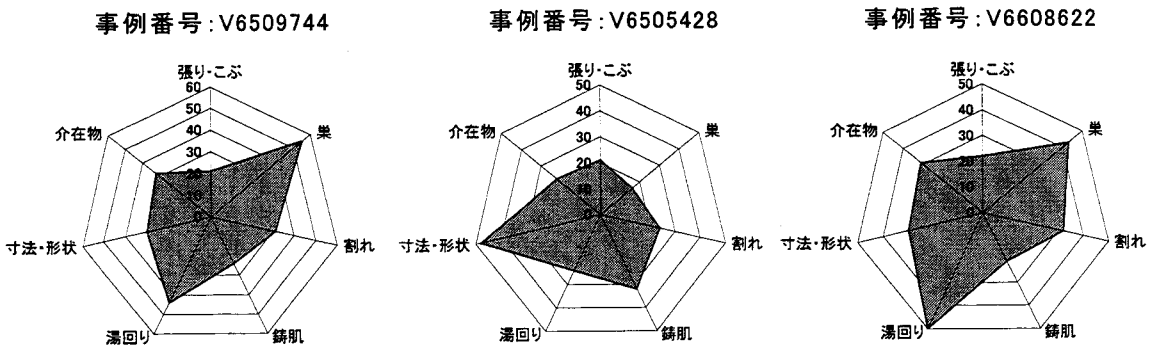


図5．8　概念検索を利用した文献内容の識別

ホール不良の低減」で対策に「溶湯補給」，「溶湯温度」，「先行溶湯の挙動」の項目があり，レーダーチャートはそれぞれの事例の話題をよく表していることが確認できた．従って，多くの文書情報を分類したり，ある分野の情報だけを抽出したい場合にこの方法を利用すれば，文書を読むことなく，一次識別できる可能性が高く検索の効率化を実現できる．

5．6　結言

現場で蓄積されたデジタル文書データをそのまま利用し，有効な技術情報を的確に抽出するための方法として，テキストマイニング技術を用いた文書分析システムを開発し，技術文書の分類，検索，識別などをどのように実現し，知識として活用できるかについて検討した結果，次のことが分かった．

（1）知識データベース作成機能，文書関連度解析機能，知識マップ作成機能，関連度評価結果ビジュアル化機能を備えた技術文書分析システムを開発した．テキストマイニングを用いることで，現場固有の言葉や曖昧な表現を含んだ欠陥対策技術文書の分類，検索，識別が可能になり，鋳造技術の向上にとって最も重要な鋳造現場からの技術情報を知識として有効活用できる．

（2）ここで開発した文書分析システムでは，検索のもとになる鋳造分野の知識データベース（業務知識に基づく専門語の関連情報）を技術文書から容易に生成できる．

（3）欠陥対策技術文書に本システムでの検索を試みた結果，以下の効果を確認できた．

- 関連語も含めた文書評価によって問いかけの趣旨に沿った検索やあいまい検索が実現できる．
- 熟練者でなくとも適切な検索結果を得ることができる．
- 結果を定量的に示すため根拠をビジュアル化しやすい．
- 文書を読むことなく一次識別でき，検索の効率化を図ることができる．

（4）知識データベースの作り方がその後の検索結果に大きな影響を及ぼすため，鋳造分野におけるその最適な作成方法について今後検討する必要がある．

参考文献

1) P.P.Chen : The entity-relationship model toward a unified view of data, ACM Transactions on Database Systems,1(1976)9

2) 野口正一，牧野武則：自然言語処理,オーム社,(1991)

3) 浅岡伴夫，石井哲，小山健治：CRM から CRE へ,日本能率協会マネジメント,(1999)

4) 岡本直之：自然言語処理入門,共立出版,(1991)

5) 野口正一：図解自然言語処理,オーム社,(1995)

6) 中野幹夫，那須川哲哉ほか：情報処理,40(1999)351

7) 冨浦洋一，渡辺日出雄ほか：情報処理,41(2000)425

8) 長坂悦敬，古瀬勝茂，石井哲：経営情報学会 2002 年春期講演論文集,(2002)146

9) 石井哲：テキストマイニング活用法,リックテレコム,(2002)

10) 森辰則，國分智晴，田中崇：情報処理学会トランザクション「データベース」，Vol.43 No.SIG02(2001)5

11) 竹内広宜，小林メイ，青野雅樹，寒川光：情報処理学会研究報告「デジタル・ドキュメント」,No.032(2001)12

12) 国際鋳物技術委員会編：国際鋳物欠陥分類図集,日本鋳物協会,(1975)

13) 日本鋳造工学会編：鋳造用語辞典,日刊工業新聞,(1995)

14) SAS インスティチュートジャパン：テキストマイニングがマーケティングを変える,PHP 研究所,(2001)

15) 湯浅夏樹，上田徹，外川文雄：情報処理学会論文誌,36-8(1995)1819

16) 稲子希望，笠原要，松澤和光：情報処理学会論文誌,41-8(2000)2291

第6章　スコア法による鋳造欠陥対策の意思決定支援システム

6．1　緒言

一般に現場において鋳造欠陥が発生した場合，その欠陥の種類を明らかにし原因を考察した上で対策案を検討することになる．したがって，まず欠陥の診断を行うこと，さらには，その診断に基づき過去の事例や経験，知見から対策案を立てることが必要である．これらの支援方法について第 2 章から第 5 章において検討し，その成果の一つとして，大量の鋳造技術文書から問題の欠陥と関連度の高い対策事例を容易に抽出することが可能になった．

しかし，実務において，これら複数の対策案の中から，新たに発生した欠陥に対する最適な対策案を迅速に選択することは容易でない．また，最適な対策案が選択されたとしても，決定に至った過程を論理的に示すことが困難な場合が多い．そこで，複数の対策案から最適なものを選択するための意思決定を支援する方法や技術が強く求められるが，このようなシステムに関する研究はこれまでみあたらない．

現場の技術レベルを向上させるためにも，それぞれの対策案の客観的評価と選択根拠の明確化が重要になる．これを実現する方法の一つとして，現場あるいは担当者の価値観によって対策案の評価を数値で表すことが考えられる．数値化することで複数の対策案から最適な案を客観的に選択することが可能になり，欠陥対策の意思決定を支援することができる．しかし，人間の主観も入り交ざった多くの判断要素がその時々で変化しながら絡み合う欠陥対策の選択については，これまで数値評価の試みがなされていない．

本章では，対策案をスコア（得点）で評価する意思決定支援システムの構築を試みた．すなわち，欠陥対策の意思決定に関与する各要素と複数ある対策案の優先度を定量的に算出し，人間の判断の支援に利用できる可能性について検討した．

6．2　AHP 法による鋳造欠陥対策の意思決定支援

6．2．1　人間による対策案の評価

複数の対策案の中から最適なものを選択するとき，担当者は何らかの評価基準に基づいて決定を下している．対策案の選択では，例えば，コスト，手配時間，実績，作業性，納期への影響などが評価項目になる．これらの中には，コストと作業性などのように場合によっては互いに利害が相反する項目，経費や手配時間などのように具体的な数

値で示され客観的評価が与えられる項目，経験から推測した作業性や解決の見込みなどのようにあいまいさを含んだ主観的評価項目が混在する．また，これらの評価項目の一つひとつに何らかの重み付けがなされ，各対策案に対するこれらの総合評価から結論が導き出されるが，評価項目の内容や重みは担当者やその時の状況によって変化する．

すなわち，人間による欠陥対策の意思決定は共通の尺度が無い多様な評価の積み重ねと言える．これを定量化し，最終的に複数の対策案を数値で評価するためには，多様な要素に対応し，尺度の違う要素や数値化できない要素も扱うことができ，一貫性の無いデータが与えられたときにそれを確認できる手法を用いる必要がある．これに対して，ここでは AHP 法（Analytic Hierarchy Process）[1-4] の利用を検討した．

6．2．2　鋳造欠陥対策の意思決定への AHP 法の適用

AHP 法を一言で表すなら，問題を，最終目標・評価基準・代替案（最終的な選択の対象）の階層構造に整理した後，各評価項目を数値で比較し，最終的に最適な解を導く手法といえる [2]．これまで，マーケティングや建設工法の選定などの様々な問題に適用されてきたが，鋳造欠陥対策案の選択に使われた例は報告されていない．

この方法によって鋳造欠陥対策の意思決定（問題）を整理すると図 6.1 の階層図のように表される．レベル 1 は最終目標である「対策案の選択」である．さらに，レベル 2 は，この問題における担当者や現場の評価基準（この例では，作業性，コストへの影響，納期への影響）であり，レベル 3 は選択の対象となる対策案（この例では，湯口方案の改善，注湯温度の見直し，塗型の改善，中子の改善）である．

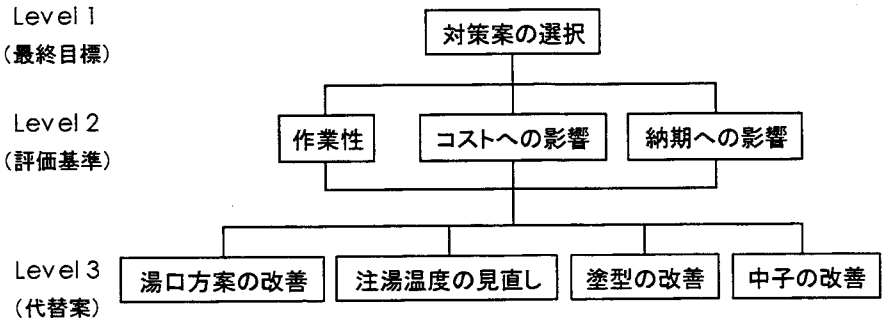


図6．1　階層図の例

最終的には，評価基準を考慮して，どの対策案を選ぶのがより良いかを数値で表したい．そこで，レベル 2 の評価項目に意思決定者の価値観を反映するために，例えば，次のような評価項目の一対比較をおこなう．すなわち，比較結果（=一対比較値）は 1

～9 の整数で与え，それぞれの数値に，1 =「同じ程度」，5 =「重要」，9 =「絶対的に重要」などの意味を持たせる [4]．また，一対比較は一つ上のレベルのある要素（親要素）を評価基準として，現在レベルの要素（子要素）のペア比較をおこなうので図 6.2 のような一対比較表を用意する．

親要素(Level k)　　子要素(Level k + 1)

対策案の選択	作業性	コストへの影響	納期への影響
作業性	1	5	1/9
コストへの影響	1/5	1	1/3
納期への影響	9	3	1

子要素(Level k + 1)　　一対比較の値

図6．2 一対比較表の例

例えば，「作業性」対「コストへの影響」の比較で「作業性」の良いことが「コストへの影響」が大きいことよりも重要視される場合には，一対比較表に「5」を記入する．「コストへの影響」対「作業性」の比較ではこの逆の結果になるので，逆数「1/5」を記入する．これをすべての組み合わせでおこない一対比較表を完成する．この表は「やや重要」（=「3」）や「かなり重要」（=「7」）といった漠然とした評価も取り込んで，その人の評価基準を反映している．

AHP 法は，比率尺度（Ratio Scale）による一対比較をもとに，全体としての項目間の比率尺度を決定する評価方法なので，評価項目のウエイト（重み，重要度）の比が問題になる [1,2,4,13]．そこで，次に，レベル 2 にある三つの評価項目のウエイトを計算する [1-5]．作業性，納期への影響，コストへの影響という三つの評価基準のウエイトを求めるには，まず一対比較表の各行の幾何平均を求める．例えば，図 6.2 で 1 行目にある作業性の幾何平均は，R を行，C を列とすれば，

$$(R_1C_1 \times R_1C_2 \times R_1C_3) \times 1/3 = (1 \times 5 \times 1/9) \times 1/3 = 0.82$$

になる．こうして得られた三つの幾何平均の合計でそれぞれの幾何平均を除算するとその結果が各評価項目のウエイトになる [4]．図 6.2 の例では，作業性：0.19，コストへの影響：0.10，納期への影響：0.71 になり，これが，評価した人の価値観を数値で表したものである．

次は，作業性，納期への影響，コストへの影響の三つの評価項目それぞれについて四つの対策案（湯口方案の改善，注湯温度の見直し，塗型の改善，中子の改善）の一対比較表を完成させてウエイトを計算すれば，それぞれの評価項目からみた各対策案のウエイトが求まる．こうして得たウエイトを一つの表にまとめると表 6.1 のようになる．

この表の数字に各評価項目のウエイト（表中の括弧書きの数字）を掛けて，行方向に加えれば，ここでの目的である対策案のスコア（対策案の選択という最終目標から見た各対策案の数値評価，0.0～1.0）が求まる．

表6. 1 ウエイト集計表の例

評価項目 / 対策案	作業性 (0.19)	コストへの影響 (0.10)	納期への影響 (0.71)
湯口方案の改善	0.05	0.04	0.05
注湯温度の見直し	0.65	0.64	0.65
塗型の改善	0.20	0.25	0.24
中子の改善	0.10	0.07	0.06

この例でのスコアは次のようになる．

湯口方案の改善　：0.05　(0.05×0.19＋0.04×0.10＋0.05×0.71＝0.048)

注湯温度の見直し：0.65　(0.65×0.19＋0.64×0.10＋0.65×0.71＝0.650)

塗型の改善　　：0.23　(0.20×0.19＋0.25×0.10＋0.24×0.71＝0.234)

中子の改善　　：0.07　(0.10×0.19＋0.07×0.10＋0.06×0.71＝0.068)

すなわち，この例の評価者の価値観（図 6.2）に従えば，この四つの対策案は上記のスコアで評価され，「注湯温度の見直し」を選択すべきであることが示される．

6．2．3　一対比較の整合性

一対比較において評価者から首尾一貫性のある答え（比較値）が得られなかったり，評価値の選び方が著しく偏っているなどの場合は，全体としての整合性が確保できない．そこで，一対比較の曖昧さを判断する尺度として整合度 C.I.（Consistency Index）が用いられる．

n個の評価項目 $I_1,\cdots,I_n$ があり，その本来のウエイトを $w_1,\cdots,w_n$ とすれば，項目 I_i とI_j の一対比較値 a_{ij} は $a_{ij}=w_i/w_j$ の関係を満たす．従って一対比較行列 $A=[a_{ij}]$ は次のような形になる．

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

この行列Aは理想的な評価（完全に首尾一貫性のある評価）がなされた場合に実現す

るが[1,2]，通常はこのような形にはならない．この A にウエイトの列ベクトルを乗ずると次のようになる．

$$\begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}$$

つまり，$A \cdot w = n \cdot w$ であり，この式は固有値問題 $(A-n \cdot I)w = 0$ に変形できる[6,7]．ここで，$w \neq 0$ が成り立つのは n が A の固有値の場合であり，このとき w は A の固有ベクトルになる．さらに，A のランクは1であるから固有値 $\lambda_i (i = 1,2,\cdots,n)$ は一つだけが0でなく，他は0になる．また，A の主対角の和は n なので，ただ一つの0でない λ_i を λ_{max} とすれば，$\lambda_i = 0$，$\lambda_{max} = n(\lambda_i \neq \lambda_{max})$ となる．従って，ウエイトの列ベクトル w は A の最大固有値 λ_{max} に対する正規化した（$\Sigma w_i = 1$）固有ベクトルになる．

現実の一対比較行列 A は，複雑な状況下の問題を扱うために前述のような理想型にはならないが，A の最大固有値と固有ベクトルを求めれば，その固有ベクトルを各評価項目のウエイトとして採用できる[1-5]．現実の一対比較行列 A' の最大固有値を λ'_{max} 固有ベクトルを w' とすれば，固有値と固有ベクトルの関係から $A' w' = \lambda'_{max} w'$ が成立する．このとき A' が整合しなくなるにつれて（一対比較の首尾一貫性が失われるにつれて）λ'_{max} が n より大きくなるので，$\lambda'_{max} \geqq n$ が成り立ち，等号は完全に整合性が保たれたときにのみ成立する．これから一対比較の整合性（首尾一貫性）の尺度として，次の整合度が定義される．

$$\text{C.I.} = (\lambda'_{max} - n)/(n - 1)$$

行列 A が完全な整合性を持つ場合，この値は0であり，この値が大きくなるほど行列 A' の不整合度が高いと見て，一対比較を再検討する必要がある．ただし，Saatyは C.I. が 0.1（場合によっては 0.15）以下であれば合格とすることを経験則より提案している[1,2,8]．

6．3　意思決定支援システム

試作した欠陥対策意思決定支援システムの概要を図 6.3 に示す．評価項目や対策案が入力されると，これに従ってメモリ上に一対比較表が作られる．一対比較値の入力が完了すると，それらの値が計算モジュールに送られる．計算モジュールでは AHP 法によるウエイトの計算がおこなわれ，結果が対策案のスコアの形でアウトプットされる．こ

こでは評価基準と対策案の入力を別のモジュールにし，一方だけを変更してシミュレーションできるように配慮した．

評価基準は図 6.4 の画面で入力する．ここでは，コストへの影響，手配時間，作業性，納期への影響，他製品・ラインへの影響，現場の選択を評価基準に採り上げている．評価基準は 10 項目まで入力でき，入力順はウエイトに影響を与えない．入力したデータは，オペレータが意識的に削除しない限りシステムに保持されるので，後日，一部の項目を変更して再利用することもできる．また画面上部には欠陥名と現象の記入欄があり，対策のメモを残すことができる．

評価基準の入力が完了するとメモリ上に一対比較表が作られ，評価項目間の一対比較値が入力できる．一対比較表の完成は AHP 法の最も重要な部分であり，この値は極

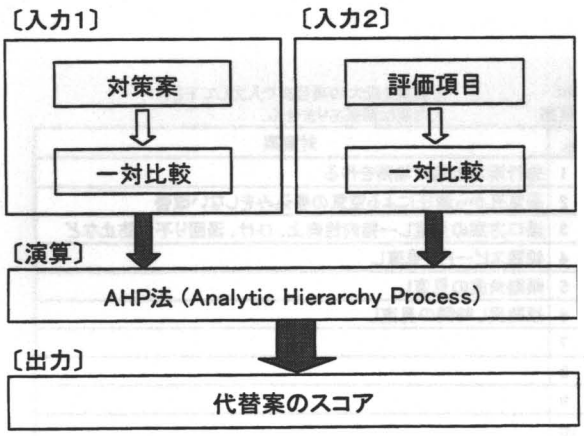


図6．3 意思決定支援システムの概要

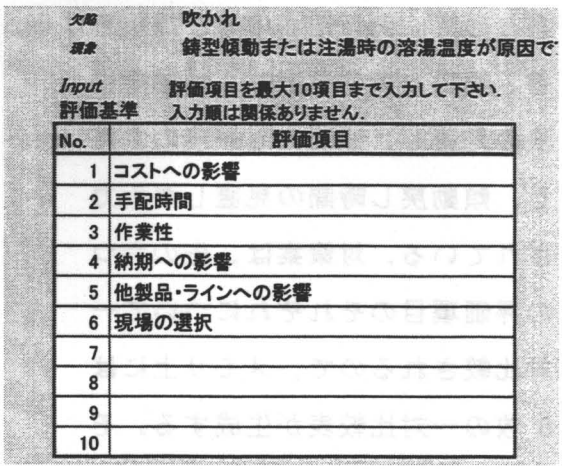


図6．4 評価基準の入力画面例

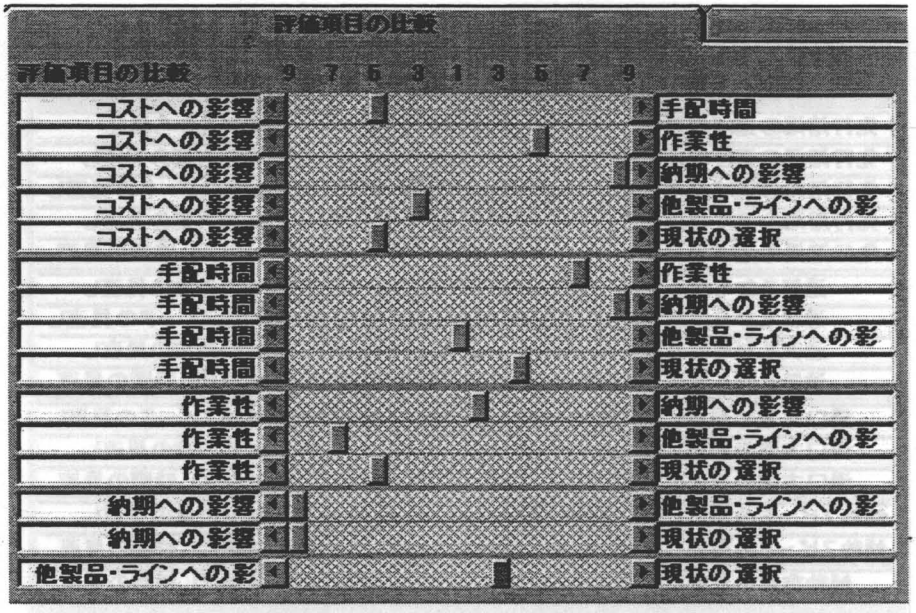


図6．5 評価項目の一対比較値入力画面

めて慎重に入力しなければならない．

一方，一対比較表は一度に多くの比較を検討することになり混乱することがある．つまり，このすべての欄へ首尾一貫した適切な値を与えるのは容易な作業ではない．

そこで，図 6.5 のマンマシンインターフェースを用意した．一対比較する二つの項目を画面の左右に配し，その間をスライドバーでつないでいる．スライドバーはメモリ上の一対比較表に連動しているので，オペレータはこれを直感的に移動するだけで一対比較値を入力できる．画面をこのように配置することで，オペレータは一つ一つの比較に集中でき，首尾一貫性ある入力が可能になる．また，操作面からは大幅な作業負荷の軽減と作業時間の短縮，入力値の見直しの容易さなどを実現している．

対策案は図 6.6 の画面で入力する．入力方法などは評価基準の場合と同様である．また，オペレータが意識的に削除しない限り再利用できる点も同様である．ここでは対策案として，先行溶湯の逃げ場所を作る，通気孔から減圧による空気の巻込みをしない改善，湯口方案の見直し，傾動角度決の見直し，傾動スピードの見直し，傾動戻し時間の見直しが入力されている．対策案は，先の六つの評価項目のそれぞれについて一対比較されるので，メモリ上には 6 枚の一対比較表が生成する．その入力画面を図 6.7 に示す．

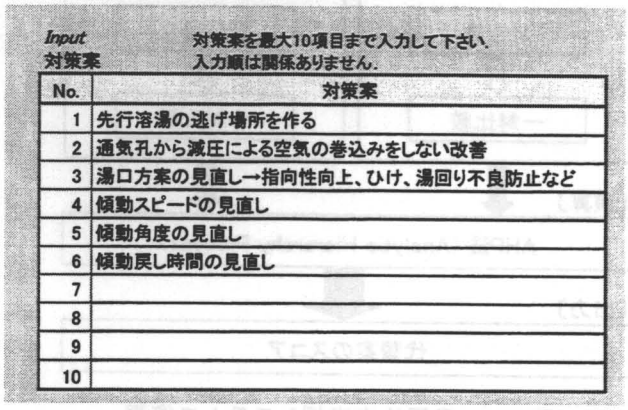


図6．6 対策案の入力画面例

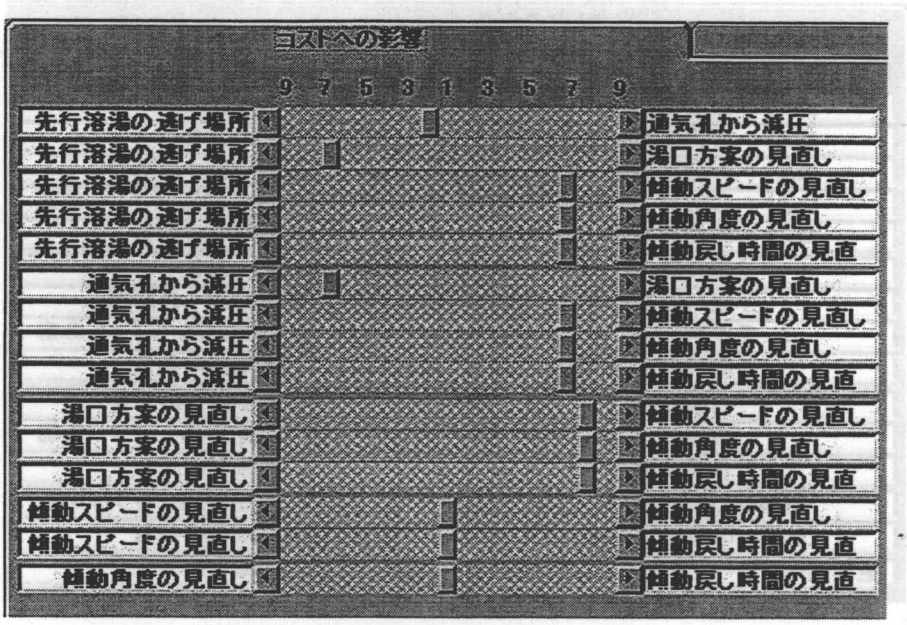


図6．7 コストに関する対策案の一対比較値入力画面

評価基準の一対比較表と対策案の一対比較表を完成した後スコア表示ボタンを押すと，ウエイトの計算が始まり，図 6.8 のようなビジュアルなアウトプットが得られる．

対策案はスコアの降順に表示される．ここでスコアは評価基準を考慮して対策案を数値で表したものであるから，上位に位置する対策案ほどその人の価値観に合ったものといえる．対策案の右にはスコアの詳細を示すグラフが表示される．ここでは，スコアが評価項目ごとのウエイトの積み上げで表示され，得点の根拠や各評価項目との関連などが一見して理解できる．例えば，上位の 3 案は他よりも納期への影響が少ないことが重要視されて高いスコアになったことが分かる．また，得られる情報を基に，さらに議論を深めたり別の新しい対策案の検討も可能になる．

画面中段には評価基準のウエイト分布がグラフ表示される．評価基準のウエイト分布は対策案の決定に大きな影響を及ぼす．このグラフから，現在の決定において各評価項目がどのように重み付けされているかを知ることができる．以上によって評価基準の定量化を実現し，決定を検証するために必要な情報を提供することが可能になった．

通常は図 6.8 に示すアウトプットだけで必要な情報が得られる．しかし，意図しない

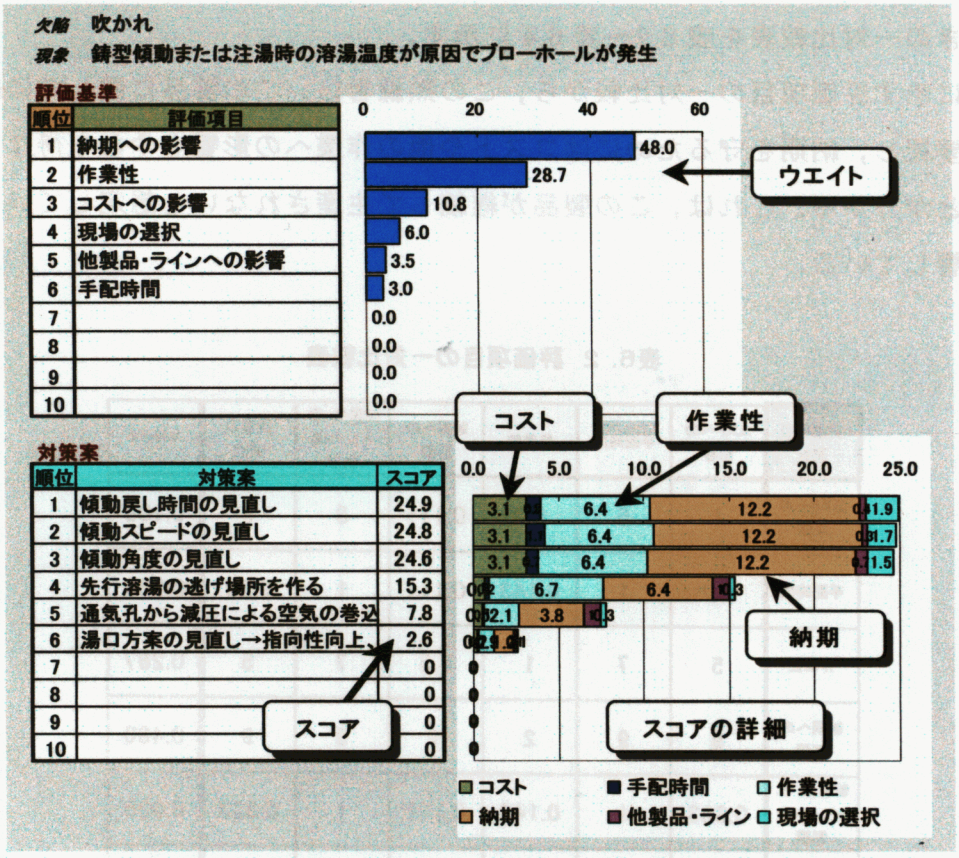


図6．8 アウトプット画面例

（評価項目のウエイトと対策案のスコアを表示）

結果が得られた場合の原因調査や意思決定の再検討が求められるような場面では，より詳細な情報が必要になる．このときは一対比較表を表示して，入力された一対比較値，各項目のウエイト，整合度など，スコアに影響するすべての情報を検討することができる．先に述べたように，整合度（C.I.）は一対比較の首尾一貫性を表す重要な指標である．ここでは，一対比較表の右下に C.I.値を表示するとともに，これが 1.5 を超えた場合には警告を表示して一対比較の再検討を促す．

6．4　システムの検証と考察

熟練者の協力を得てシステムを検証した．評価項目（図 6.4 参照）と一対比較値を熟練者が入力し,そこから導き出されるスコアと熟練者が通常の方法で選択した対策案を比較した．ここでは対策すべき欠陥に，ブローホールが発生しその原因に鋳型傾動の不具合や溶湯温度が考えられる場合を仮定し，その対策案に，日本鋳造工学会誌の現場改善事例（1993 年 3 月～2001 年 11 月）から抽出した六つの対策（図 6.6 参照）を挙げている．熟練者は，小規模な鋳物工場で傾動装置のあるＶプロセスによる小ロット注文生産を念頭に回答している．

このときの一対比較表を表 6.2～表 6.4 に示す．

表 6.2 に示す評価項目の一対比較から，この熟練者は，この製品に関しては納期を絶対的に重要視し，納期を守るためにはコストや他の作業への影響もやむを得ないと考えていることが分かる．これは，この製品が継続して生産されないと想定していることが大きく影響している．

表6．2　評価項目の一対比較表

対策案の選択	コストへの影響	手配時間	作業性	納期への影響	他製品，ラインへの影響	現場の選択	Weight
コストへの影響	1	5	0.2	0.111	3	5	0.108
手配時間	0.2	1	0.143	0.111	1	0.25	0.030
作業性	5	7	1	0.5	7	5	0.287
納期への影響	9	9	2	1	9	9	0.480
他製品，ラインへの影響	0.333	1	0.143	0.111	1	0.333	0.035
現場の選択	0.2	4	0.2	0.111	3	1	0.060

C.I.　0.124

表6．3 「手配時間」に関する対策案の一対比較表

手配時間	先行溶湯の逃げ場所を	通気孔から減圧による	湯口方案の見直し	傾動速度の見直し	傾動角度の見直し	傾動戻し時間の見直し	Weight
先行溶湯の逃げ場所を	1	2	5	0.143	0.143	0.143	0.059
通気孔から減圧による	0.5	1	3	0.143	0.143	0.143	0.043
湯口方案の見直し	0.2	0.333	1	0.125	0.125	0.125	0.024
傾動速度の見直し	7	7	8	1	0.333	1	0.240
傾動角度の見直し	7	7	8	3	1	1	0.346
傾動戻し時間の見直し	7	7	8	1	1	1	0.288

C.I. 0.088

表6．4 「作業性」に関する対策案の一対比較表

作業性	先行溶湯の逃げ場所を	通気孔から減圧による	湯口方案の見直し	傾動速度の見直し	傾動角度の見直し	傾動戻し時間の見直し	Weight
先行溶湯の逃げ場所を	1	4	7	1	1	1	0.232
通気孔から減圧による	0.25	1	3	0.333	0.333	0.333	0.074
湯口方案の見直し	0.143	0.333	1	0.143	0.143	0.143	0.031
傾動速度の見直し	1	3	7	1	1	1	0.221
傾動角度の見直し	1	3	7	1	1	1	0.221
傾動戻し時間の見直し	1	3	7	1	1	1	0.221

C.I. 0.005

表6．5 対策案の評価結果

			スコアの詳細					
順位	対策案	スコア	コストへの影響	手配時間	作業性	納期への影響	他製品，ラインへの影響	現場の選択
1	傾動戻し時間の見直し	0.249	0.031	0.009	0.064	0.122	0.004	0.019
2	傾動速度の見直し	0.248	0.031	0.010	0.064	0.122	0.003	0.017
3	傾動角度の見直し	0.246	0.031	0.007	0.064	0.122	0.007	0.015
4	先行溶湯の逃げ場所を	0.153	0.007	0.002	0.067	0.064	0.010	0.003
5	通気孔から減圧による	0.078	0.005	0.001	0.021	0.038	0.010	0.003
6	湯口方案の見直し	0.026	0.002	0.001	0.009	0.012	0.001	0.001

表 6.3 と表 6.4 は対策案の一対比較の例として手配時間と作業性をそれぞれ評価基準にした場合を示す．

手配時間から考えた場合（表 6.3），すぐに対応可能な傾動関係の対策案は断然有利で，完全に対策できるまでに時間を要する鋳型関係の対策案は不利と判断されている．特に，最も大掛かりで，かつ他の欠陥を引き起こす可能性もある湯口方案の見直しは時間的に最も不利な対策と判断されている．

作業性から見た場合（表 6.4），先行溶湯の逃げ場所を作る対策が傾動関係の対策と同程度の作業性と判断されている．手配時間など他の一対比較表と比べて一見不自然に思えるが，これは湯流れさえ把握できれば孔を設けて湯をあふれさせるなどの現場的な緊急対策が可能なことによる．

工場の規模や担当者の熟練度，対策に与えられる時間的余裕や経営的問題など，作業環境や条件によってここに示す一対比較値は変化する可能性がある．この例で得られた一対比較表はどれもほぼ整合性が保たれていることから，ここでの条件における適切な値が入力されたと判断できる．これらの一対比較から得たウエイトを基に算出したスコアとその詳細を表 6.5 に示す．

スコアから，この熟練者の価値観を考慮すれば，傾動関係の対策案は採用しやすく鋳型に関係する対策案は採用し難いこと，傾動戻し時間の見直し，傾動スピードの見直し，傾動角度決の見直しが，最善，次善，次々善の選択であるがその差は僅かであること，湯口方案の見直しは最も選択し難い対策であること，などが具体的な数値で理解できる．

詳細欄からは，その理由を知ることができる．例えば，スコアに対して最も影響力の強い納期への影響には，対応の速さだけでなく今回限りの対策であることも考慮され，次に影響力の強い作業性には現場的な緊急対策も考慮されている．コスト面では，新たな設備が不要で，速度や角度などの技術的な問題で対策できる傾動関係の対策が有利であり，鋳型にかかわる対策はどれも不利と判断され，その差は大きい．一方，他の製品やラインへの影響では工場規模が比較に影響を与え，それぞれの対策に必要な人員の確保が大きなファクタとして捕えられ，現場の選択（現場から二つの対策が提案されたときにどちらの対策を支持するかという観点にたった比較）では対応の早さが重視されているが，これらがスコアに及ぼす影響は小さい．

ここで導き出されたスコアは熟練者の選択順と一致した．また，選択理由も詳細欄に示された評価項目ごとのウエイトとよく一致した．さらに，評価基準では納期，作業性，コストの順序は完全に一致し，その比率も近いものであった．これらのことから本システムの演算の妥当性が確認される．従って，本システムを利用して欠陥対策決定における意思決定者の価値観とそこから導かれる対策案の評価を定量的に示すことは可能である．これによって複数の対策案から最適な案をより客観的に選択することが可能に

なる．また，ここで得られる情報を基に，人間の判断をリファインすることが可能であり，本システムが欠陥対策の意思決定を支援できる可能性は高い．しかし，納期への影響のように同時に複数の要素，例えば，作業者の熟練度や準備のしやすさなどを考慮して判断する必要がある項目は，一対比較の評価基準として適当かは不明である．このような評価項目の取り扱いについては今後検討を加える必要がある．

6．5　結言

スコア法による欠陥対策意思決定支援システムのプロトタイプを作成し，実際の欠陥対策事例に適用した結果，以下のことがわかった．

（1）スコア化することで対策案や評価基準（対策の意思決定基準）を定量的に比較することが可能になり，本システムが欠陥対策における意思決定の支援に有効であることが確認できた．

（2）数値化することで，複数の対策案から最適案をより客観的に選択することが可能になった．

（3）スコアは自動的に記録でき，根拠として保存し，以後の対策に役立てることができる．

（4）ここで得られた対策決定の根拠とその効果を蓄積することで，今後の技術向上が図れる．

参考文献

1) 木下栄蔵：意思決定論入門,哲学出版,(1992)55

2) 長坂悦敬：産業企画論,学術図書,(2001)173

3) 竹村哲：問題解決の技法,海文堂出版,(1999)71

4) 刀根薫：ゲーム感覚意思決定法,日科技連,(1986)

5) John C.G.Boot(大沢豊，田畑吉雄　訳)：意思決定における数量的方法入門,日本生産性本部,(1973)1

6) 入江昭二：線形数学II,共立出版,(1989)

7) 白岩謙一：線形代数入門,サイエンス社,(1987)

8) 木下栄蔵：数学モデルによる多変量解析入門,近代科学社,(1995)

9) 高橋三雄：ビジネス情報技術,日科技連,(1996)

10) 木下栄蔵：マネジメントサイエンス入門,近代科学社,(1996)

11) 松原望：意思決定の基礎,朝倉書店,(2001)

12) 生天目章：戦略的意思決定,朝倉書店,(2001)

13) 刀根薫：AHP事例集,日科技連,(1986)

14) 飯島淳一：意思決定支援システムとエキスパートシステム，日科技連,(1993)

15) 瀬尾芙巳子，福地崇生：あいまい環境下のモデリングと意思決定,京都大学学術出版会,(2002)

16) 深野宏之：経営戦略のための意思決定と品質管理,工業調査会,(1991)

第7章　総　括

本研究の目的は，鋳造欠陥の発生に直面した場合に，対策案の決定までの一連の作業の中で技術者の判断を支援することのできるシステムを開発し，整理・蓄積した大量の鋳造欠陥情報の中から的確な情報を技術者に分かり易く提供するとともに，対策案を立てる場合の意思決定の支援も可能とすることである．その結果，過去の鋳造欠陥情報を知識として活用した合理的かつ迅速な欠陥対策を実現し，鋳造技術の向上，コストの低減，機械部品としての鋳造品の信頼性向上をねらいとするものである．以下に，本研究の結果を要約して述べる．

第１章では，本研究の目的とその背景，および従来の研究について述べた．

第２章では，鋳造欠陥情報の特徴と従来の事例整理方法を検討し，鋳造欠陥情報の整理，蓄積，検索をどのように実現し，的確な情報の迅速な選択をコンピュータによって支援できるかについて検討した．さらに，ハイパーリンク技術とカード型データベースを利用した鋳造欠陥の視覚的整理システムを作成し，実用性について検討した．その結果，次のことが分かった．

（１）鋳造欠陥には規格統一的な分類が存在しない．このため，鋳造欠陥情報のほとんどは体系的に整理された形で蓄積されておらず再利用が困難な状態にある．

（２）鋳造欠陥情報の整理例として過去の事例集を参照することができる．しかし，新しい技術の開発や鋳造品の多様化が進む現在，鋳造欠陥対策の実用的な支援を行うためには，従来の事例集に対して鋳造現場に応じて鋳造欠陥の細分類が自由に変更でき，最新かつ最適な鋳造欠陥情報の追加と蓄積情報の再整理が容易に行える機能が要求される．

（３）技術者の求める的確な鋳造欠陥情報を迅速に分かりやすく提供することができる鋳造欠陥情報の視覚的整理システムを開発した．鋳造欠陥情報の体系的な整理方法が見あたらない現状では，コンピュータに与える分岐は過去の事例整理方法を参照して人間が手で作る必要がある．ここで述べたハイパーリンク技術とカード型データベース手法はこれを容易に実現し，コンピュータによる鋳造欠陥情報の整理・蓄積と迅速な抽出を可能にした．

第３章では，第２章に示した鋳造欠陥情報整理システムの客観性と実用性を向上する方法について検討した．すなわち，大量の鋳造欠陥情報から収集した専門家の知識を，

コンピュータが推論可能な形式に整える知識整理の方法について検討し，コンピュータによって鋳造欠陥の分類ルールを自動作成できる可能性について検討した結果，次のことが分かった．

（1）鋳造欠陥情報から鋳造欠陥の分類に関する専門家の知識を収集し，これをコンピュータが推論可能な形式に整理することができた．ここで提案した知識整理の方法は，専門家の経験的な判断要素を属性と属性値に整理することで鋳造欠陥の分類ルールをコンピュータ処理によって作成することを可能にし，鋳造欠陥の合理的な分類ルールの自動作成を実現した．

（2）過去の鋳造欠陥情報は，人間の経験的判断にとって満足できるものであってもコンピュータ処理に必要な情報が欠落している場合が少なくない．このため，あらゆる鋳造現場に対応可能な，より実用的なルールの自動作成を目指すには，知識表現における属性の適切な選択とそれらの値の最適化および属性間の合理的な序列，判断例の“不明”部分に与える具体的な値について今後さらに広範囲な鋳造欠陥情報の収集と最近のシミュレーションや実験的データを基に検討する必要がある．

第４章では，知識整理の精度向上を図るために広く鋳造欠陥情報を収集し，整理，蓄積する方法について検討した．すなわち，ユーザ独自の情報を蓄積するための鋳造欠陥情報蓄積システムとインターネットを介して情報の共有化を実現するための鋳造欠陥情報共有システムを開発し，実際の鋳造現場における有効性を検討した．その結果，次のことが明らかになった．

（1）ここで開発した鋳造欠陥情報蓄積システムと鋳造欠陥情報共有システムを利用することで，多様な鋳造欠陥情報の蓄積と共有が可能になり，鋳造技術の向上にとって最も重要な鋳造現場からの技術情報を，知識として蓄積することが可能になった．

（2）鋳造欠陥情報共有システムによって，時間と空間の制約がない知識の共有，多様な鋳造欠情報の蓄積とその精度の向上が可能になった．さらに，技術者同士のバーチャルな議論の場は，迅速な問題解決と新しい知識・技術の取得に対する効果が認められた．

（3）実際の鋳造現場で本システムを試用した結果，以下の効果を確認できた．

- 鋳造現場での欠陥対策技術情報の蓄積と整理に有効である．
- 欠陥発生時における鋳造欠陥情報の迅速な参照に効果があり，欠陥の同定や対策の策定を支援できる．

- 導き出された判断や対策に論理性があり，より説得力を持たせることができる．
- 技術者育成のための教育的な効果や経験的な知識・技術の伝承に対する効果も認められる．

（4）今後の課題として，鋳造欠陥情報共有システムの運用にあたっては，情報の信頼性を高めるための努力と投稿者の意図を正しく伝えるための支援が必要になる．このためには，多くの鋳造専門家の協力を得る必要がある．

第5章では，これまでの情報処理技術では対応できなかった問題点，すなわち，鋳造欠陥情報の表現上の特徴と情報の欠落に対応するため，現場で蓄積されたデジタル文書データ，特に鋳造欠陥に関するデータをそのまま利用し，有効な技術情報を的確に抽出するための方法論について検討した．対象として取り上げた鋳造欠陥の原因と対策についての文書データ群は，現場固有の言葉やあいまいな表現が多いという特徴がある．これに対して，テキストマイニング技術を用いた文書分析システムを開発し，技術文書の分類，検索，識別などをどのように実現し，知識として活用できるかについて検討した結果，次のことが分かった．

（1）知識データベース作成機能，文書関連度解析機能，知識マップ作成機能，関連度評価結果ビジュアル化機能を備えた技術文書分析システムを開発した．テキストマイニングを用いることで，現場固有の言葉や曖昧な表現を含んだ欠陥対策技術文書の分類，検索，識別が可能になり，鋳造現場からの技術情報をそのまま知識として有効利用できる．

（2）ここで開発した文書分析システムでは，検索のもとになる鋳造分野の知識データベース（業務知識に基づく専門語の関連情報）を技術文書から容易に生成できる．

（3）欠陥対策技術文書に本システムでの検索を試みた結果，以下の効果を確認できた．

- 関連語も含めた文書評価によって問いかけの趣旨に沿った検索やあいまい検索が実現できる．
- 熟練者でなくとも適切な検索結果を得ることができる．
- 結果を定量的に示すため根拠をビジュアル化しやすい．
- 文書を読むことなく一次識別でき，検索の効率化を図ることができる．

（4）ことばで表現された鋳造欠陥情報を容易に取り扱うことが可能になった結果，蓄積した鋳造欠陥情報をこれまで以上に有効かつ柔軟に利用することが可能になった．

（5）知識データベースの作り方がその後の検索結果に大きな影響を及ぼすため，鋳造分野におけるその最適な作成方法について今後検討する必要がある．

第6章では，欠陥対策の意思決定に関与する各要素と第5章までに述べた方法によって得られる複数の対策案の優先度を定量的に算出し，人間の判断の支援に利用できる可能性について検討した．さらに，スコア法による欠陥対策意思決定支援システムのプロトタイプを作成し，実際の欠陥対策事例に適用した結果，以下のことがわかった．

（1）スコア化することで対策案や評価基準（対策の意思決定基準）を定量的に比較することが可能になり，本システムが欠陥対策における意思決定の支援に有効であることが確認できた．

（2）数値化することで，複数の対策案から最適案をより客観的に選択することが可能になった．

（3）スコアは自動的に記録でき，根拠として保存し，以後の対策に役立てることができる．

（4）ここで得られた対策決定の根拠とその効果を蓄積することで，今後の技術向上が図れる．

以上により，鋳造欠陥の同定から対策の決定に至るまでの一連の作業において，技術者の判断を支援することのできる的確な情報を迅速にかつ分かり易く提供するとともに，複数の対策案から最適な対策を選択する場合の意思決定の支援を実現し，過去の鋳造欠陥情報の有効利用と，鋳造現場の技術者が論理的に納得しコンセンサスをもって迅速に対応できる鋳造欠陥対策の決定を可能にした．このように本研究では，鋳造欠陥情報の中で最も重要な，ことばで表された雑多な鋳造欠陥情報を欠陥対策の知識として活用する方法を明確にした点で，学術的にも，また，今後の鋳造技術の向上と経験的な知識・技術の伝承に対しても，きわめて有用な成果が得られたものと考える．

鋳造欠陥情報には言葉に置き換えられた情報と現実の情報とがある．このうち言葉で表された情報については，ここで述べた方法によって対応することが可能になった．そこで，残された課題として，事実と言葉の間を埋める方法論についての研究，具体的には，デジタル保存した操業実態や鋳造品の状況から種々の鋳造欠陥情報を現場で自動認識し，人間によるデータ入力（言葉に置き換えられた情報）と併用して判断に利用できる仕組みの研究と開発などが挙げられる．また，実施した対策を評価し蓄積して以後のプランに反映するマネジメントシステムの開発も重要になる．これらについては，今後さらに研究を進める必要がある．

謝　辞

本研究の遂行並びに本論文をまとめるにあたり，御懇切な御指導と御鞭撻を賜わった大阪大学大学院教授　大中逸雄博士に深く感謝の意を表します．

また，論文作成に際し，種々の御助言，御教示を頂いた大阪大学大学院教授　荒井栄司博士，大阪大学大学院助教授　中谷彰宏博士，甲南大学経営学部教授　長坂悦敬博士に厚く御礼申し上げます．

さらに，本研究の推進に有益な御助言，御指導を賜わりました元大阪大学工学部教授　福迫達一博士，大阪大学大学院助教授　山内勇博士，大阪大学大学院助教授　安田秀幸博士，大阪大学工学部　大道徹太郎技官に深く感謝致します．

本研究を実施するにあたり，金沢学院大学宮本匡章学長，原栄一副学長，経営情報学部古澤治司学部長より御高配と御鞭撻賜わったことに対し，厚く御礼申し上げます．

最後に，本研究の遂行にあたって，大阪大学大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻 マテリアル・デバイス工学講座の皆様，クオリカ株式会社（旧小松ソフト株式会社）関係各位に多大の御協力を頂いたことに対し，深く感謝致します．

本論文に関連した公表論文

1）パーソナルコンピュータを使用した視覚的な銅合金鋳造欠陥の特定

阿手雅博，山内 勇，大中逸雄

鋳物　67 (1995) pp.391-396

2）銅合金鋳造欠陥エキスパートシステムのための知識整理

阿手雅博，山内 勇，大中逸雄

鋳造工学　69 (1997) pp.477-483

3）自然言語処理による欠陥対策現場情報の知識整理

阿手雅博，長坂悦敬，大中逸雄

鋳造工学　75 (2003) pp.202-207

4）スコア法による欠陥対策の意思決定支援システム

阿手雅博，長坂悦敬，大中逸雄

鋳造工学　75 (2003) pp.270-275

5）Accumulation of the Knowledge by a Casting Defect Data Base

M.Ate，I.Yamauchi，K.Nakamura，I.Ohnaka

International Journal of Materials & Product Technology　19 (2003) pp.530-541

6）Assimilation of knowledge for a copper alloy casting defect expert system.

M.Ate，I.Yamauchi，I.Ohnaka

International Journal of Computer Applications Technology　19 (2004) pp.1-11

7）鋳造欠陥データベースによる知識の蓄積と共有化

阿手雅博，山内 勇，中村幸吉，大中逸雄

鋳造工学　投稿中