

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「個体マーキングによる鋳鉄の革新的品質保証システム開発」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 近畿経済産業局
委託先 財団法人素形材センター

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論	6
2-1 鋳造部品個体マーキング装置の開発	6
2-2 鋳造条件自動計測システム開発	11
2-2-1 非接触注湯温度測定システム	11
2-2-2 鋳物砂特性の自動計測システム	13
2-3 鋳造品質保証システムの統合と活用	16
第3章 全体総括	22
3-1 研究開発成果のまとめ	22
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	23

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究の背景・目的

川下産業(自動車産業、家電業界等)では、リコールや不完全燃焼事故など市場クレームが大きな社会問題となり、品質について徹底した対応が不可欠の時代となっている。鋳造業を含む川上産業(部品メーカ)においては、川下産業の信頼を得るために、機能とコストだけでなく、品質保証を確実なものにしなければならない。

鋳造業においても、徹底して欠陥を排除した部品作りを行い、トレーサビリティを確保した品質保証を担保する技術が必要であるが、中小鋳物企業の生砂型量産ラインで生産プロセス管理と直結した個体管理によるトレーサビリティを確保した品質管理システムは、未だに実現されていない。

中小鋳物企業の生砂型量産ラインでも生産条件、生産状態と個体管理を直結させたトレーサビリティを実現することが必要となっている。

本研究開発は、不具合対策の迅速化、クレーム費の低減などコスト低減と製品の信頼性向上のために、中小鋳物企業の砂型量産ラインでの部品個々のトレーサビリティ確保による革新的品質保証システムを開発する。

(2) 研究の概要および目標

自動車業界では迅速な不具合対応のために、部品レベルで製造データのトレーサビリティを確保した品質保証が求められている。本研究開発では、他に例をみない「砂型鋳造量産ラインにおける全自動個体マーキング装置」を開発し、個々の鋳造部品とその製造データが量産レベルで確実に紐付けできる品質保証システムを構築する。とくに、粉塵や振動など過酷な環境である鋳造現場でハード、ソフトが十分に機能を発揮することを目指す。

すなわち、中小鋳物企業の砂型量産ラインで部品個々のトレーサビリティを確保し、品質保証を実現するため、以下の3つのサブテーマをとりあげる。その技術目標値は、以下のとおりである。

①鋳造部品個体マーキング装置の開発

- ・目視で判読可能なマーキング品質確保
- ・メンテナンスフリーの連続稼働時間目標：80時間/1週間

②鋳造条件自動計測システム開発

②-1 非接触注湯温度測定システム

- ・計測精度の確保：±15℃
- ・メンテナンスフリーのシステム稼働時間目標：160時間/2週間

②-2 鋳物砂特性の自動計測システム

- ・各鋳物砂特性の計測精度：±10%以内

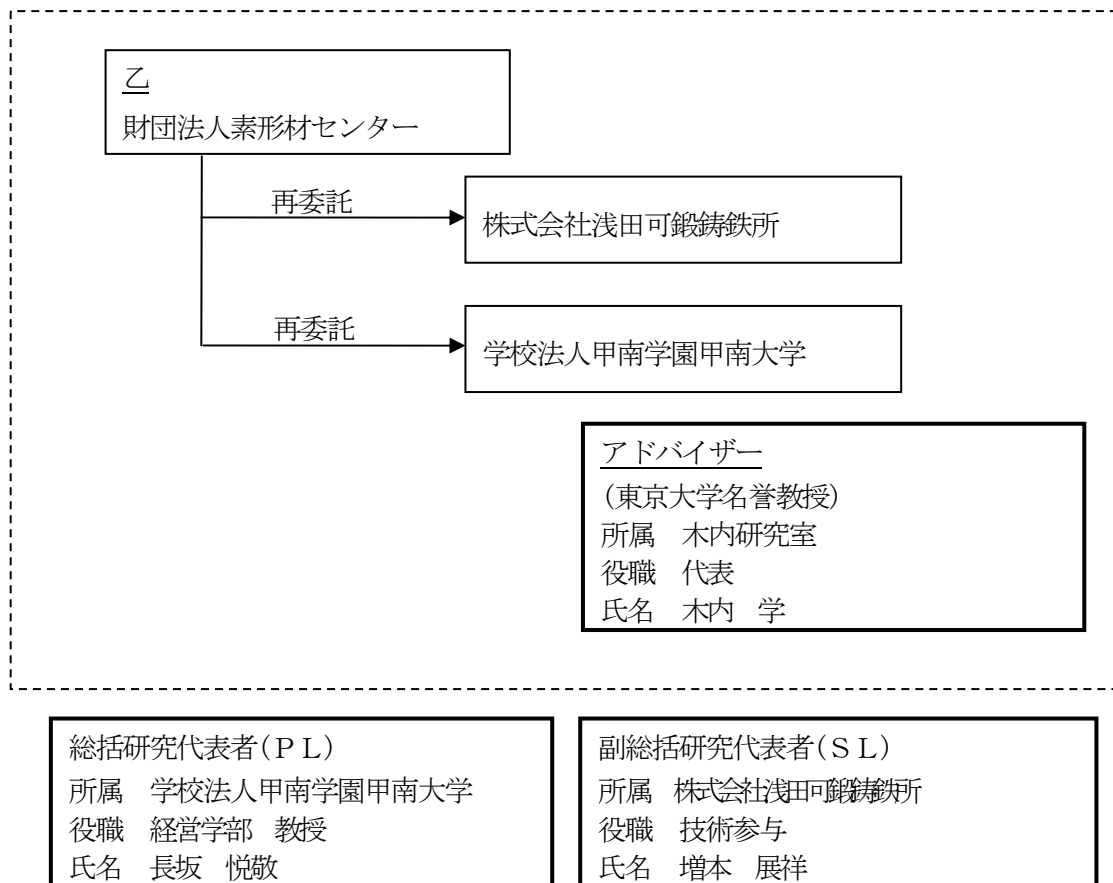
③鋳造品質保証システムの統合と活用

- ・個別生産品についての鋳造条件等のトレース時間：5分以下

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

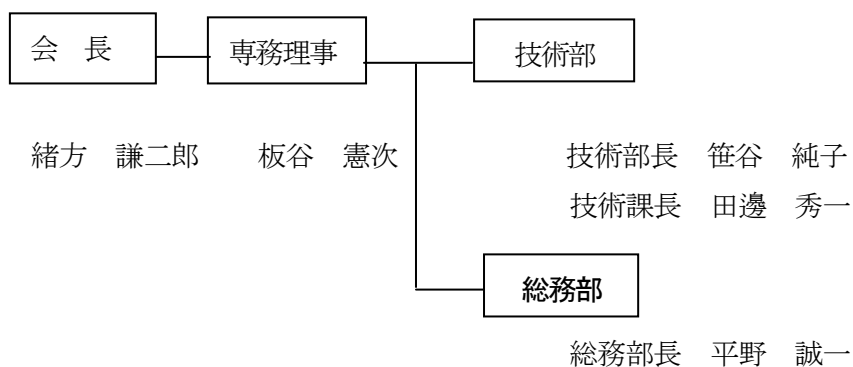
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

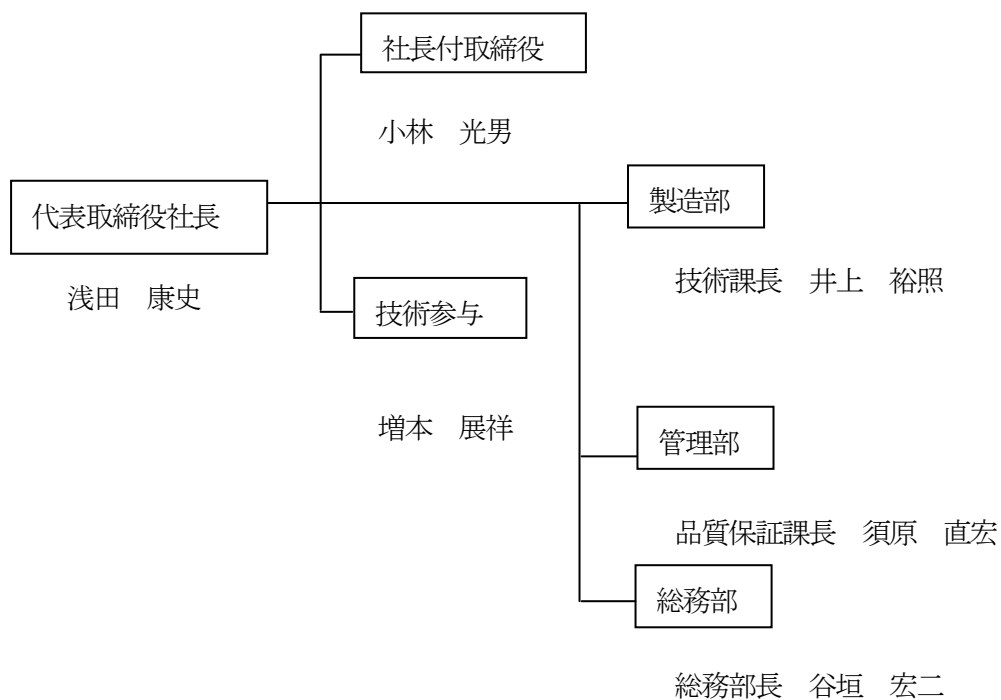
①事業管理者

[財団法人素形材センター]

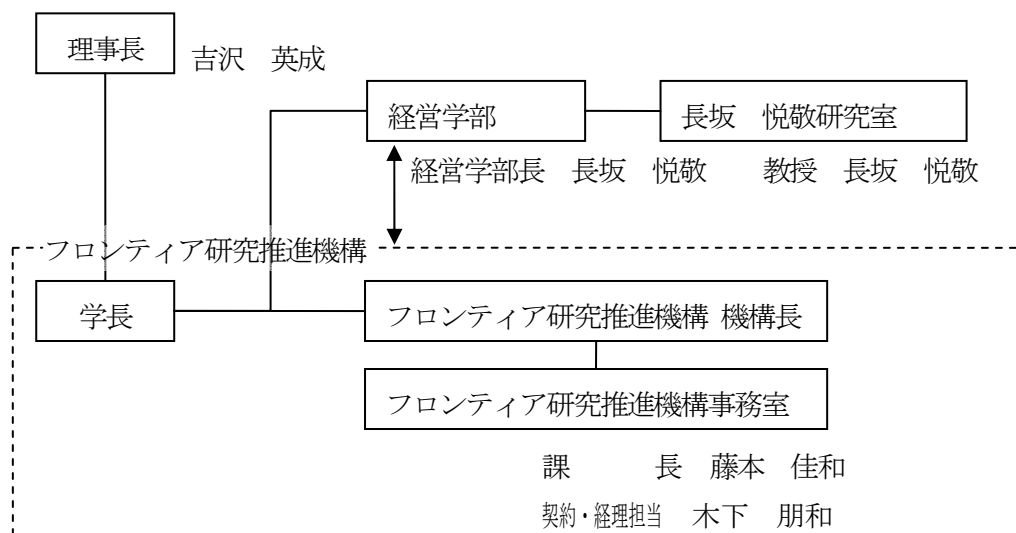


②(再委託先)

[株式会社浅田可鍛鋳鉄所]



[学校法人甲南学園甲南大学]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人素形材センター

①管理員

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
板谷 憲次	専務理事	④
笹谷 純子	技術部長	④
田邊 秀一	技術課長	④

【再委託先】 ※研究員のみ

株式会社浅田可鍛鉄所

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
浅田 康史	代表取締役社長	①②③
小林 光男	社長付取締役	①②③
増本 展祥	技術参与	①②③
井上 裕照	製造部技術課長	①②
須原 直宏	管理部品質保証課長	①②③

学校法人甲南学園甲南大学

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
長坂 悦敬	経営学部長 経営学部経営学科 教授	③

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人素形材センター

(経理担当者)	総務部長	平野 誠一
(業務管理者)	技術部長	笹谷 純子

(再委託先)

株式会社浅田可鍛鉄所

(経理担当者)	総務部 総務部長	谷垣 宏二
(業務管理者)	総務部 総務部長	谷垣 宏二

学校法人甲南学園甲南大学

(経理担当者)	フロンティア研究推進機構事務室	木下 朋和
(業務管理者)	フロンティア研究推進機構事務室 課長	藤本 佳和

(4) その他

①委員会(個体マーキングによる鋳鉄の革新的品質保証システム開発委員会)

	氏 名	所 属	役 職
委員長	長坂悦敬	学校法人甲南学園甲南大学 経営学部	学部長、教授
委 員	木内 学	東京大学名誉教授 木内研究室	代表
〃	浅田康史	株式会社浅田可鍛鋳鉄所	代表取締役社長
〃	増本展祥	株式会社浅田可鍛鋳鉄所	技術参与
〃	板谷憲次	財団法人素形材センター	専務理事
〃	笹谷純子	財団法人素形材センター	技術部長
〃	田邊秀一	財団法人素形材センター 技術部	技術課長

1-3 成果概要

(1) 鋳造部品個体マーキング装置の開発

- 砂型鋳造量産ラインでも読み取り可能な 3 桁(0～999)のドットマーキング技術を開発した。マーキング方法としては、各桁は 4 個のドットから構成され、各々 2 進数のパターンにより、0～9 の数字に対応するものである。
- 水平多間接ロボットを使用して、6 部品/鋳枠でマーキング時間 15 秒の高速マーキング装置を開発した。
- 装置稼働後 1 ヶ月経過しているがメンテナンスなしで稼働しており、鋳造工場の過酷な環境下でも、充分使える装置である。

(2) 鋳造条件自動計測システム開発

①非接触注湯温度測定システム

- 注湯ラインに設置して、画像処理により、非接触放射温度計の焦点を常に溶湯の出口である取鍋カラスロの中央にあわせる技術を開発し、注湯開始鋳枠から注湯終了鋳枠までの全ての鋳枠の注湯温度を自動で測定する非接触注湯温度測定システムを開発した。
- 開発システムによる温度測定精度は、従来の浸漬熱電対での測定温度に対し、±10℃以内の誤差範囲であり、実用には問題ない精度である。
- システム稼働後 1 ヶ月経過しているがメンテナンスなしで稼働しており、鋳造工場の過酷な環境下でも、充分使える装置である。

②鋳物砂特性の自動計測システム

- 重要な製造要因である鋳物砂特性の自動計測データをデータ処理用パソコンに自動搬送し、データを一元化しデータベース化するシステムを開発した。

(3) 鑄造品質保証システムの統合と活用

- 部品識別番号と網羅的に自動計測された製造条件と、その部品の良否を示す品質情報をデータベース内で一元化し、次のステップであるマイニングデータ解析のための解析データが自動的にアウトプットできるシステムを開発した。
- 不良と良品を区別できる製造要因の組み合わせを抽出し、その製造要因と結果との因果関係を分析して、安定して良品となる最適製造条件の抽出する手法を開発した。
- 本システムを用いることにより、3 分間で不良部品ロットの特定が可能となった。更に、本システム活用による画期的な不良低減活動への取り組みを開始した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人素形材センター（担当；技術部長 笹谷純子、技術課長 田邊秀一）

連絡先 Tel 03-3434-3907

Fax 03-3434-3698

Mail Address : mail@sokeizai.jp

第2章 本論

2-1 鑄造部品個体マーキング装置の開発(サブテーマ①)

(1) 研究内容

鑄型に砂を使用する鑄鉄生型造型ラインでは、図 2-1 のように部品が順不同でラインオフされるため、製品にマーキングしても製造条件との紐付けができない。そのため造型直後の砂型の表面にマーキングし、それを製品に転写して、紐付けできるようにする必要がある。



図 2-1 順不同でラインオフされた鑄造部品

砂型の表面に高精度にマーキングするのは容易ではなく、また、砂の飛散や堆積等、鑄造環境が悪く、ハードウェア開発のハードルは高い。

これまでに、レーザによるマーキング手法等、種々検討を重ねた結果、レーザ等の光学的な方法ではなく、直接鑄型の表面にピンでドットをマーキングする方法が実現の可能性が大きいと判断し、テスト機を試作し、マーキングテストを行った。

種々テストした結果、マーキング品質をほぼ満足できるようになったが、生産ラインでの実用化にはマーキング品質や位置決め、防塵・防振等の課題があることが今までの研究成果から明らかとなった。

また、通常の鋳造工場では、ひとつの鋳枠で数個の部品ができる、いわゆる多数個取りの造型ラインが一般的である。例えば、6 個取りで、15 秒/鋳枠のサイクルタイムで造型するラインの場合、生産効率を維持させつつ、このサイクルタイム内で 6 部品にマーキングするには、マーキングヘッドを 200mm/秒程度の高速で移動させ、しかも精度良く位置決めできる装置が必要となる。

本項目では、上記のような現状を踏まえて個体マーキング装置を製作し、鋳鉄生型造型ラインで部品の全数に個別に明瞭なマーキングを行えることを確認すると共に、鋳造工場の塵埃、振動に耐えられるかを評価することとした。

その評価指標は、以下のとおりである。

- (a)砂型に付けるマーキング品質の向上(マークの小型化：7mm×7mm/1 マーク、明瞭化；目視で判読できる)
- (b)マーキング位置決め精度の向上(±0.3mm)
- (c)多数個取りにも対応可能な高速・高精度位置決め(マーキング個数：15 秒/6 部品)
- (d)装置摺動部の更なる防塵対策(メンテナンスフリー時間：80 時間/1 週間)

上記の開発が達成されれば、鋳鉄砂型量産ラインのように、小物鋳鉄部品が順不同に流れるラインにおいて、鋳造品と鋳造条件の紐付けが可能となる。表 2-1 に開発目標と課題、方策をまとめて示す。

表 2-1 開発目標と課題、方策

1.マーキング高速化(15 秒/6 ヶ所以下) ①水平多関節高速ロボット ②マーキング No 変更(1 づつ増える)の高速化
2.マーキング部品拡大容易化の為のドットパターン小型化(□7mm 以下) ①マーキングパターンの小型化(□5mm/パターンで実施)
3.小型パターン時のマーキング品質確保(判読可能) ①ドットパターン形状最適化 ②砂崩れの少ないマーキング方法
4.鋳造工場の悪い環境での信頼性、耐久性確保(メンテナンスフリー1 週間以上) ①防塵タイプマーキングロボット、装置をアクリルでカバー、摺動部のカバー

(2) 研究成果

(2)ー1 個体マーキング装置の仕様検討

過去に開発したテスト機での課題を踏まえ、生産現場でも適用可能となるように、以下のような仕様を具備することとした。

- ①水平 2 軸リニアスライド(手動)に Z 軸ロボットを組み合わせたテスト機から、4 軸水平多関節ロボットに変更して、動作を調整してラインに適合するようにマーキングの全自動化、高速化を可能とした。
- ②マーキングピンの出し入れをペンシルシリンダによる押し引きから、あらかじめピンを埋め込んだ刻印をロボットで押し付ける方式に変更し、刻印の小型化を実現した。(図 2-4 の写真参照)同

時にマーク可能桁数を 2 桁から 3 桁に増やして 999 個までマーキングできるようにした。またマーキング No を進める方法は、プロトタイプ機ではペンシルシリンダの押し引きによりドットパターンを自動的に 1 つずつ増やす方法を採用したが、量産ラインへの適合のためには小型化が必要となったため、本開発装置では 0 から 9 までのドットパターンを持つ刻印を持ち替える方法を採用した。

(2)ー2 開発装置主仕様

砂型鑄造量産ラインで実用的に使用可能な装置として、今回開発したマーキング装置の図 2-2 に主仕様を示す。

1.動作概要 ①マーキングは水平多関節ロボット(4 軸,右写真)で実施 ②マーキング位置あわせはロボットティーチングで実施 ③自動運転時マーキング No は順次加算し刻印 (刻印準備ステージで次の No の刻印に持ち替え刻印) ④マーキングロボットと鑄型コンベアは信号をやり取りし安全運転 2.能力 ①マーキング速度：12 秒/6 ヶ所 (ロボット速度:11m/秒) ②マーキング桁数：3 桁(1～999) ③ロボット位置決め精度：±0.02mm 3.装置の大きさ ①重量：180Kg (ロボット本体：45kg) ②外形寸法：W700×D450×H1700mm 4.防塵対策 ①摺動部は全て防塵処理(密封、スクレーパー、カバー等) ②装置全体をアクリルでカバー	 ・4 軸水平多関節ロボット ・Z 軸は蛇腹でカバー
--	---

図 2-2 個体マーキング装置の主仕様

(2)ー3 マーキング手順

マーキング手順は以下のようなものである。①装着→②No1 刻印位置に移動→③ロボット下降→④所定位置で微速送り→⑤ドットマーク刻印→⑥所定位置で下降中止→⑦ロボット上昇→⑧No2 刻印位置に移動 NO 1 刻印と同じ同左→⑨所定刻印個所に刻印→⑩刻印終了→⑪刻印清掃→⑫1 つ進んだドットマークパターンの刻印に持ち替え →②へ : この繰り返しでマーキング継続

(2)ー4 異常時の対応

マーキング装置のマーキング対象は生砂鋳型であり、この鋳型はコンベアにより十数秒ピッチで、コンベアで順次送られている。

マーキング装置はコンベアからの信号を受け、コンベアの動きと同期してマーキング動作を実行する。もしマーキング装置、コンベア搬送ラインに異常が発生した場合は、異常に適切に対応し安全を確保し、機械損傷を防ぎ、異常が解除された場合迅速に復帰運転する必要がある。図 2-3 に開発装置の異常対応方法を示す。



図 2-3 開発装置の異常対応方法

(2)ー5 マーキング装置の現場への設置

開発した個体マーキング装置を生型造型ライン現場に設置した。設置にあたっては剛性の高い基礎の上に装置を固定することにより振動を防止した。また、安全のため装置は金属のネットで囲んだ。

図 2-4 に、造型現場に設置したマーキング装置外観を示す。



図 2-4 マーキング装置外観

本装置により、容易に判読できるドットパターンをマーキングすべく、

①マーキングピンの径、ピン長さ

②ロボット Z 軸微速送り開始位置

③マーキング力(刻印の押し付け力)を要因としたマーキング品質向上に係るテストを実施した。

テストで得られた最適な条件で、デフケース実部品にマーキングしたドットパターンを図 2-5 に示す。図に示すように、2 進数のドットパターンに対応した番号(例示:571)を読み取ることができ、部品識別のためのドットパターンによるマーキング技術を開発することができた。なおダミー点は数字の読み取り方向を示すためのものである。

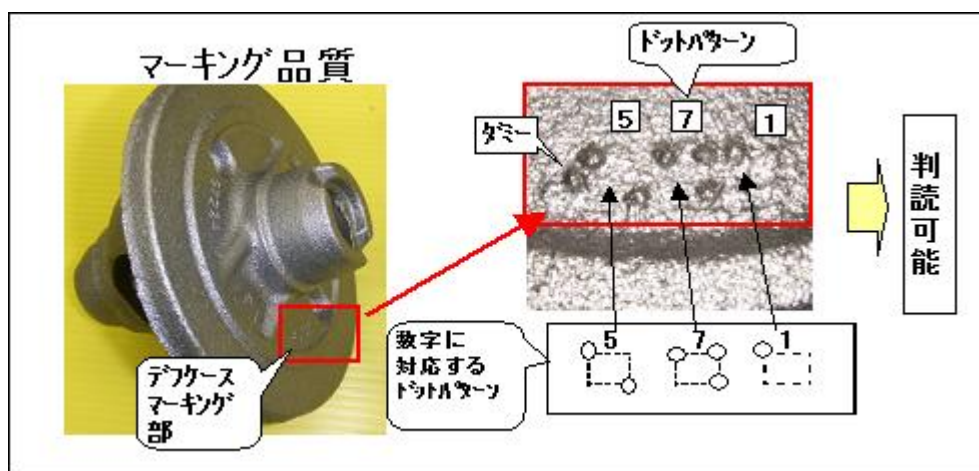


図 2-5 デフケースにマーキングしたドットパターン

(2)ー7 サイクルタイムの確認

デフケースで 6 部品/枠にマーキングした時のサイクルタイムを確認した。移動、掃除、刻印交換等の刻印準備時間は 3 秒程度を想定していたが、実際は刻印の確認時間を含め 5 秒かかってしまった。しかし、刻印時間は 2 秒短縮することができたため、合計での目標サイクルタイム 15 秒をクリアすることができた。

(2)ー8 個体マーキング装置開発の目標達成状況

表 2-2 に個体マーキング装置開発における目標の達成状況を示す。すべての目標を達成することができた。

表 2-2 開発目標達成状況

開発目標	実績	判定・摘要
・マーキング速度 $\leq$ 15 秒/6 ヶ所	15 秒	達成
・マーキング品質：目視で判読可能	判読可	達成
・ドットパターン小型化： $\square$ 7mm 以下/パターン $\times$ (3 桁)	$\square$ 5mm	達成
・装置メンテナンスフリー稼働時間 $\geq$ 1 週間	1 ヶ月	達成

2-2 鑄造条件自動計測システム開発(サブテーマ②)

2-2-1 非接触注湯温度測定システム(サブテーマ②-1)

(1) 研究内容

注湯温度が鑄造品質を大きく左右することはよく知られている。注湯温度測定としては、一般的には注湯開始時に熱電対を注湯取鍋に浸漬し測定する接触式測定が行われている。

しかし、本研究開発で目指している個体単位の品質保証システムでは、注湯開始から注湯終了まで、すべての鑄枠の注湯温度測定が求められる。そのためには、接触式ではなく非接触式での温度測定システムが最適である。

大企業に見られる定置式注湯機では、注湯温度を非接触式の放射温度計で測定している事例が一部見受けられる。しかし中小企業でよく使われている人力移動注湯(注湯取鍋をチェンブロックでつり、人力で注湯ライン上のレールに沿って移動しながら注湯する)ラインにおいては、非接触温度測定はいまだ実現されていない。その理由は、以下のとおりである。

鑄鉄溶湯の温度を非接触式の放射温度計で正確に測定するためには、「溶湯表面を覆うノロがなく炉壁からの反射の影響を受けない、5cm 角程度の平らな部位の中央」に温度測定カメラの焦点を合わせることが必須となる。これらの条件を満足する部位は、カラス口と呼ばれる、注湯取鍋の溶湯流出口であるが、常にそのカラス口の中央に温度測定カメラの焦点を合わせる必要がある。ところが、定置式注湯機に比して、人力移動注湯ラインでは移動の自由度が多いため、カラス口を温度測定カメラでピンポイントに狙うことが困難である。

本項目では、以下の(a)から(c)の方策により、人力移動注湯ラインにおける自由度の多さを克服し、全ての鑄枠に対して注湯温度を測定することができる非接触注湯温度測定システムを開発する。このシステムを用いて、注湯温度の管理条件を満足する測定精度 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 以内で、人力移動注湯ラインにおいても、注湯温度が自動的に非接触で測定できることを検証する。またメンテナンスフリーでのシステム稼働時間(160 時間/2 週間)も確認する。

- (a) 注湯ラインに沿った移動に関しては、チェンブロックの走行レール上部からブラケットを出し、カメラを注湯取鍋と共に移動させて対応する。
- (b) 注湯取鍋の上下動、注湯取鍋の傾動回転については、その移動量が少ないので、温度測定カメラと同じブラケットに取り付けた画像処理用カメラで撮影したカラス口の画像を解析し、カラス口の位置を算出する。
- (c) 温度測定カメラは、傾動と上下の移動に追従する水平軸周りの回転機構と、取鍋の回転に追従する垂直軸まわりの回転機構を有するステージに取り付け、画像処理カメラから送られてくる情報により、カラス口中央部座標に温度測定カメラの焦点が合うように位置制御を行う。

図 2-6 に非接触注湯温度測定システムの特長、機能を示す。

注湯温度測定方法	
・装置：放射温度測定カメラ(非接触) ・注湯回数：20～30 枠/取鍋で 従来の熱電対浸漬方式では全鑄枠の注湯温度測定は非効率	
・測定ポイント：注湯取鍋カラスロ(右写真) ①新生面でノロ、酸化スケールの影響小 ②溶湯表面の凹凸小→熱放射安定 ③回りに壁がなく、壁からの輻射熱なし ④定置式注湯法で一般的に採用 ⑤予備テスト結果良好	

図 2-6 温度測定装置、測定ポイント、測定方法

また表 2-3 に開発目標、課題と方策を示す。

表 2-3 開発目標、課題と方策

1.測温精度確保(±15℃以内)
①カメラ焦点をカラスロに常にピンポイントで合わせる追従装置の開発
②温度－時間信号処理の最適化
2.鑄造工場の悪い環境での耐久信頼性、耐久性確保(メンテナンスフリー2 週間以上)
①カメラケース機密性アップ+エアパージして常に正圧に保つ
②摺動部分は全てカバー
3.注湯作業者の負担を最小とする
①注湯開始ボタンを押す等の追加作業なし
②注湯取鍋移動時負荷の最小化(取鍋とカラスロが連動するため)

(2) 研究成果

(2)－1 注湯温度の測定方法

本装置による鑄枠への注湯測定は、以下の手順による。

まず注湯取鍋と連動して動く位置決めカメラで取鍋カラスロを認識し、その中央にピンポイントで非接触温度計の狙いをあわすべく、2 軸の回転装置を制御する。

次に取鍋カラスロ中央に温度計の狙いが合ったことを認識し、温度データの取り込みを開始する。

所定のデータを取り込み、データ処理を行ない、その鑄枠に対する注湯温度を確定する。

(2)－2 注湯温度測定システムの現場設置

図 2-7 に現場に設置した開発装置外観を示す。

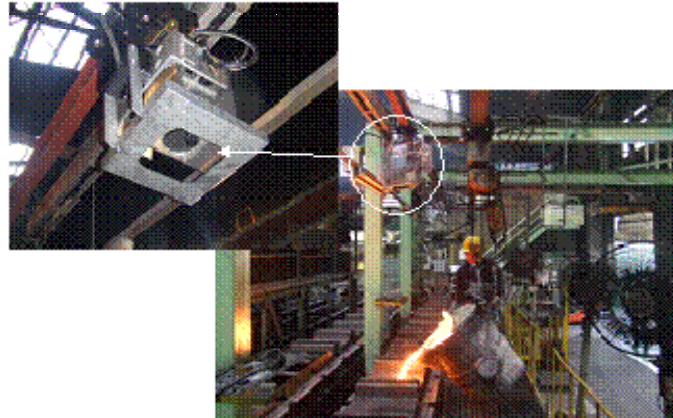


図 2-7 注湯現場に設置した非接触温度測定装置(左上)

温度測定装置、位置決め用カメラケースは、常にエアで正圧に保たれている防塵仕様の密閉容器に納入され、測定の安定性を維持している。

(2)－3 位置決めカメラによるカラスロ中央部位の追跡機能確認

本システムのポイントは、注湯中に温度測定カメラの焦点を、カラスロ中央にあわせ続けることができるかどうかということである。本装置を現場へ導入し、実際にカラスロから流れ出る溶湯を位置決めカメラで観察しながら、位置決めソフトの改善を行なった。

まず、溶湯量が多く注湯取鍋の傾きも少ない注湯開始時、注湯量と取鍋の傾き共に中くらいである注湯中期では、安定して取鍋カラスロ中央に温度測定カメラの焦点を追跡させることが可能であった。

しかし最終注湯期には、残りの溶湯量も殆どなく注湯取鍋の傾きが 90 度近くなるため、位置決めカメラで撮影される取鍋カラスロの流出溶湯の画像は細くなり、追跡が困難であったが、更にカメラの位置決めソフトの改善を進めることにより、追跡特性も向上し、十分に温度測定が可能となった。

(2)－4 注湯温度の測定結果

本開発で、非接触温度測定用に採用した放射温度測定法は、測定する対象部位から放射されるエネルギーを温度に変換して計測を行なう方法であり、測定対象物によって決まる放射率を設定して初めて温度を表示することができるものである。つまり、あらかじめ真の温度を別の方法で測定し、放射温度計の指示温度が真の温度になるような放射率を調整する必要がある。そこで本開発でも同様に、熱電対で注湯中の溶湯温度を測定し、放射温度計の指示温度がその温度になるように放射率を決めた。具体的には 10 回の測定結果の平均値より、放射率を決定した。

また本システムの測定精度を確認するために、導入後 2 週間は本システムによる温度測定値と浸漬型熱電対での温度測定値を比較した。その結果いずれの場合も本システムでの測定温度は、熱電対測定温度の±10%以内の誤差範囲であり、精度維持されていることを確認した。

図 2-8 に、各鑄枠毎の注湯温度の測定事例(20 鑄枠)を示す。ばらつきは有るが、妥当な注湯温度推移を示していると考ええる。

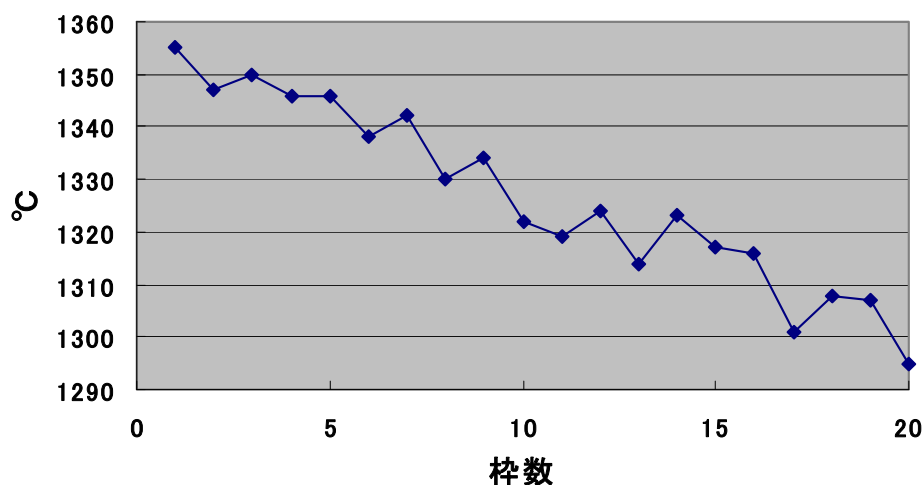


図 2-8 注湯温度測定データ(1～20 鑄枠)に対する注湯温度の推移

(2)ー5 開発目標達成状況

表 2-4 に、非接触温度測定システム開発の目標達成状況を示すが、全ての目標を達成できた。

表 2-4 非接触温度測定システム開発の目標達成状況

開発目標	実績	判定・摘要
①計測精度：±15℃（熱電対浸漬法と比較）	±10℃	達成
②装置メンテナンスフリー 稼働時間≥2 週間	1 ヶ月	達成

2-2-2 鑄物砂特性の自動計測システム(サブテーマ②ー2)

(1)研究内容

使用している生型造型用の鑄物砂は、①80～95%の珪砂、②シリカ、アルミナ、酸化鉄、水を主成分とする 10～20%の粘土系粘結剤、及び③造型性や型ばらし性を増すための石炭粉等の添加剤から構成されている。

この鑄物砂が鑄造品の品質を左右することは、従来から、良く知られた事実である。

よって、「鑄物砂の特性」、すなわち、水分、砂の圧縮性(CB 値)、砂温、通気度及び圧縮強度を把握、管理することにより、鑄造品の不良率を抑制することが可能となる。そのためには、このような鑄物砂の特性を効率的に精度良く計測する必要がある。

本項目では、鑄物砂特性を自動的に効率よく測定できる装置を導入する。測定精度については、従来の人手による計測値との差が±10%以内を目指す。

また測定値をデータベース化するため、砂特性測定装置とデータ処理パソコン間の通信を確保する。

表 2-5 に開発目標、課題と方策を示す。

表 2-5 鋳物砂特性の自動計測システム開発の目標、課題と方策

1.計測精度確保(±10%以内) ①装置導入時、従来データとのあわせこみ
2.測定データの自動転送、データベース化(サブテーマ③) ①既存造型装置制御盤のシーケンサを経由しパソコンに接続 ②データベース化ソフト作成

(2) 研究成果

(2)ー1 鋳物砂特性測定装置の導入および事前の精度確認

鋳物砂の基本特性である、CB 値、水分、抗圧力、砂温、通気度、粉圧力の測定が砂を供給すれば、自動でしかも 90 秒程度の高速で測定可能な装置を造型現場に設置した。本装置を製造工程内で使う前に、導入装置の測定データと従来人手により計測していた測定データとを比較した。CB 値、水分等の各項目につき、1 ヶ月の間、毎日午前中に 1 度測定した。その結果いずれも従来の人手による測定値との差は±4%以下であり、当初目標である±10%以下を達成した。

現在も本装置を用いて、日々の工程内の砂の諸特性を測定し、製品品質との相関確認のテスト実施している。

(2)ー2 鋳物砂特性測定データの自動搬送とデータベース化

本装置の基本仕様では、計測した砂の特性データは測定装置内に蓄積される仕様になっている。しかし本開発では、砂特性データは、他の各工程からの製造データと同様、一元管理する必要があることから、これを外部出力するために装置の改造を行なった。

図 2-9 に、測定データを外部パソコンに自動転送するために行った改造内容を示す。即ち、本装置のタッチパネルに RS422 の出力端子を取り付け、その出力ケーブルを既存の装置のシーケンサ (PLC)、イーサネットカードに連結させ、さらにイーサネットカードから LAN ケーブルで現場事務所のパソコンに接続した。

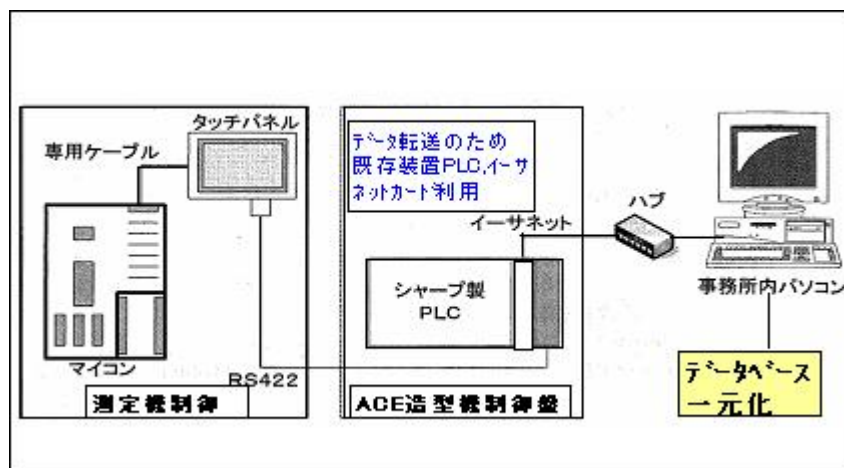


図 2-9 鋳物砂特性測定データの外部パソコンへの自動転送法

(2)ー3 目標達成状況

表 2-6 に鋳物砂特性の自動計測システム開発の目標達成状況を示す。同表に示すように、全ての目

標をクリアすることができた。

表 2-6 鋳物砂特性の自動計測システム開発の目標達成状況

開発目標	実績	判定・摘要
1.計測精度確保(±10%以内)	±4%	達成
2-1.測定データの自動転送	自動転送可	達成
2-2.データベース化	データベース化完了	達成

2-3 鋳造品質保証システムの統合と活用(サブテーマ③)

(1) 研究内容

サブテーマ①で開発する、鋳鉄生型造型ラインの個体マーキング装置でマーキングした部品識別番号と、サブテーマ②で開発する鋳造条件自動計測システムによって網羅的に計測された製造・品質データを本サブテーマ③によりデータベース上で統合する。統合に際しては、各工程でサンプリングしたデータを一元管理する必要がある、それらの中間ファイルの保存・管理場所としてのシステム統合ソフトを外注にて作成する。

これにより、ある部品で不具合が見つかったとき、その部品に関連した製造条件が 5 分以内にわかる鋳鉄部品の品質保証システムを構築する。

このようなシステムを活用することにより、客先で部品不具合が発生したとき、直ちに、その部品の不良原因となった要因を含む製造ロットを特定し、該当する部品群を把握して、回収指示を行うことが可能となる。

またサブテーマ③では、データマイニング手法を使った不良解析を行い、不良が発生しにくい製造条件を抽出し、鋳造不良率の大幅な低減を目指す。

以上をまとめると以下ようになる。

(a) 計測データのデータベース化

- ・製造要因データと品質データを一元的にデータベース化する
- ・上記データは部品個別に紐付け、検索可能とする
- ・個別生産品についての鋳造条件等のトレース時間：5 分以内

(b) 品質に関わる主要因のデータマイニング手法の開発

- ・不良と良品を区別できる製造要因の組み合わせ(主成分)を抽出(判別分析)
- ・製造要因／結果(品質)の因果関係分析(決定木アルゴリズム、共分散構造解析)
- ・安定して良品となる最適製造条件の抽出(決定木の逆解析)

(c) 不良部品の検出手法の検討

- ・上記(a)及び(b)の成果を活用して、部品の不良原因となった要因を含む製造ロットの特定、該当部品群の抽出を 5 分以内で行う。これらを図 2-10 にまとめて示す。

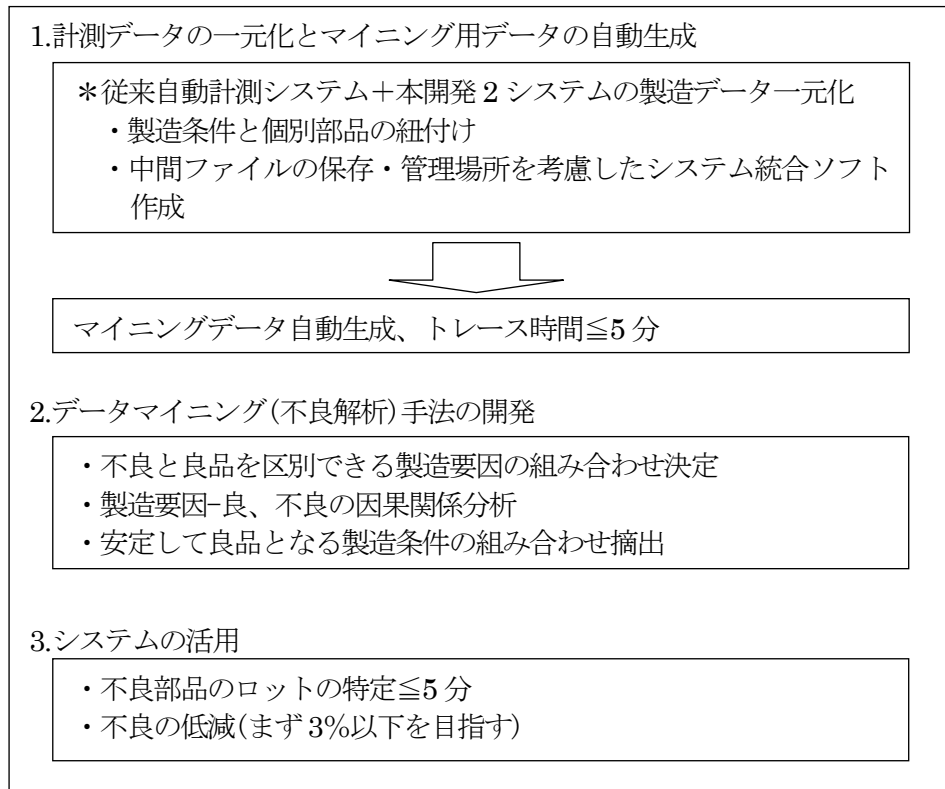


図 2-10 鋳鉄品品質保証システムの統合と活用の開発手順、方策および目標値

(2) 研究成果

(2)－1 計測データの一元化とマイニング用データの自動生成

従来開発した、溶解、球状化处理、注湯、造型の自動計測データに加え、今回開発した注湯温度、鋳造砂特性の自動計測データを加え、一元化、データベース化した。

また一元化したデータは次のステップであるデータマイニング解析用に自動的に出力できるように、新たにソフトを作成した。識別番号等の部品情報、必要な製造条件、良品、不良品等の品質情報を指定し、実行ボタンをクリックすると、自動的にそれらの情報がアウトプットされる。

自動的にアウトプットされたデータは、大別すると、右列に識別番号等の部品情報データ、中央列に製造条件データ、それに左列の品質情報で構成されており、このままマイニングデータ解析に使用できるフォーマットになっている。

(2)－2 データマイニング手法の開発

本プロジェクトでは、下記 3 点の開発を行った。

- ・不良と良品を区別できる製造要因の組み合わせ(主成分)を抽出(判別分析)
- ・製造要因／結果(品質)の因果関係分析(決定木アルゴリズム、共分散構造解析)
- ・安定して良品となる最適製造条件の抽出(決定木の逆解析)

図 2-11 に示すように、①プロセスデータと最終品質データの集約、②判別分析：不良品と健全品の区別が可能な関数抽出、③判別値の計算、④判別値と不良確率のグラフ表示、⑤決定木分析入力：

入力データ作成→決定木生成、⑥決定木逆解析：良品、不良品になる条件(ルール)の抽出という手順を実施し、不良を出さない(または、不良の原因となった)製造条件を発見し現場にフィードバックすること、作業のレベルを「見える化」して“作業者”から“技能者”になって品質を支えるという意識変革を促すことがその目的である。その「現場力の向上」が結果的に「経営力の向上」につながる事が期待される。

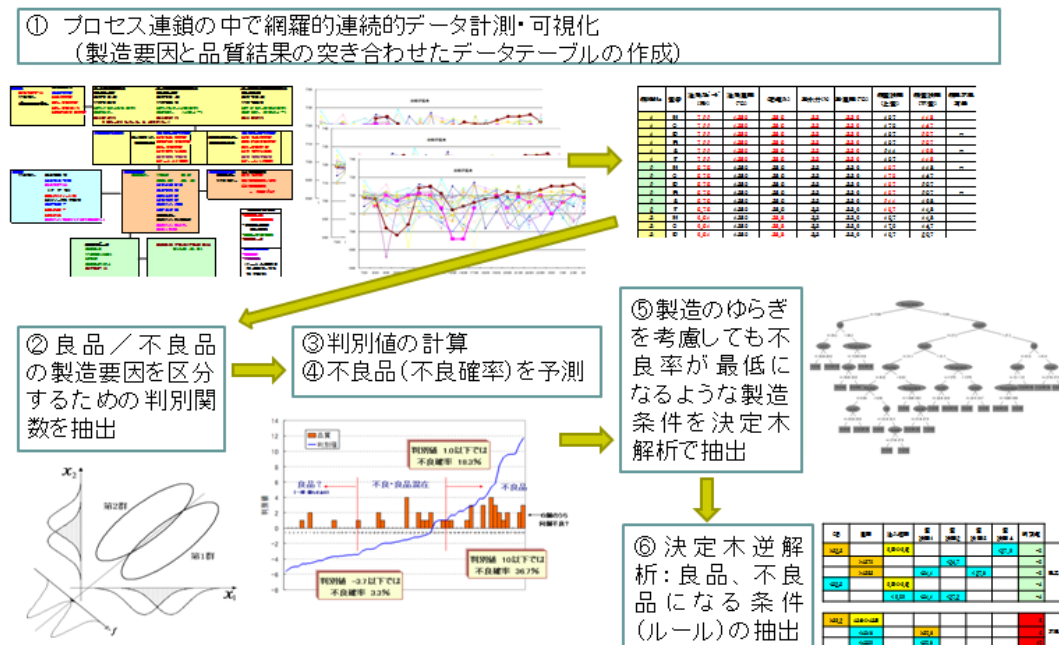


図 2-11 データマイニング手法

上記手順①では、データマイニング用データシート(自動出力)として実現された。手順②から④の実施には、従来、時間がかかりノウハウが必要であった。ここでは、Ms-Excel のマクロプログラムを開発し、誰でも短時間で手順②から④を実行できるツールを開発した。図 2-12 にあるように、自動出力されたデータマイニング用データシートを Ms-Excel にコピーし、「分析開始ボタン」を押すと、判別すべき群(列)の指定、製造要因データ(列)の指定を促す。データセットが終了すると自動的に判別関数と判別値が計算される。これに不良確率を計算したものを加え、グラフ化したものが、図 2-13 である。

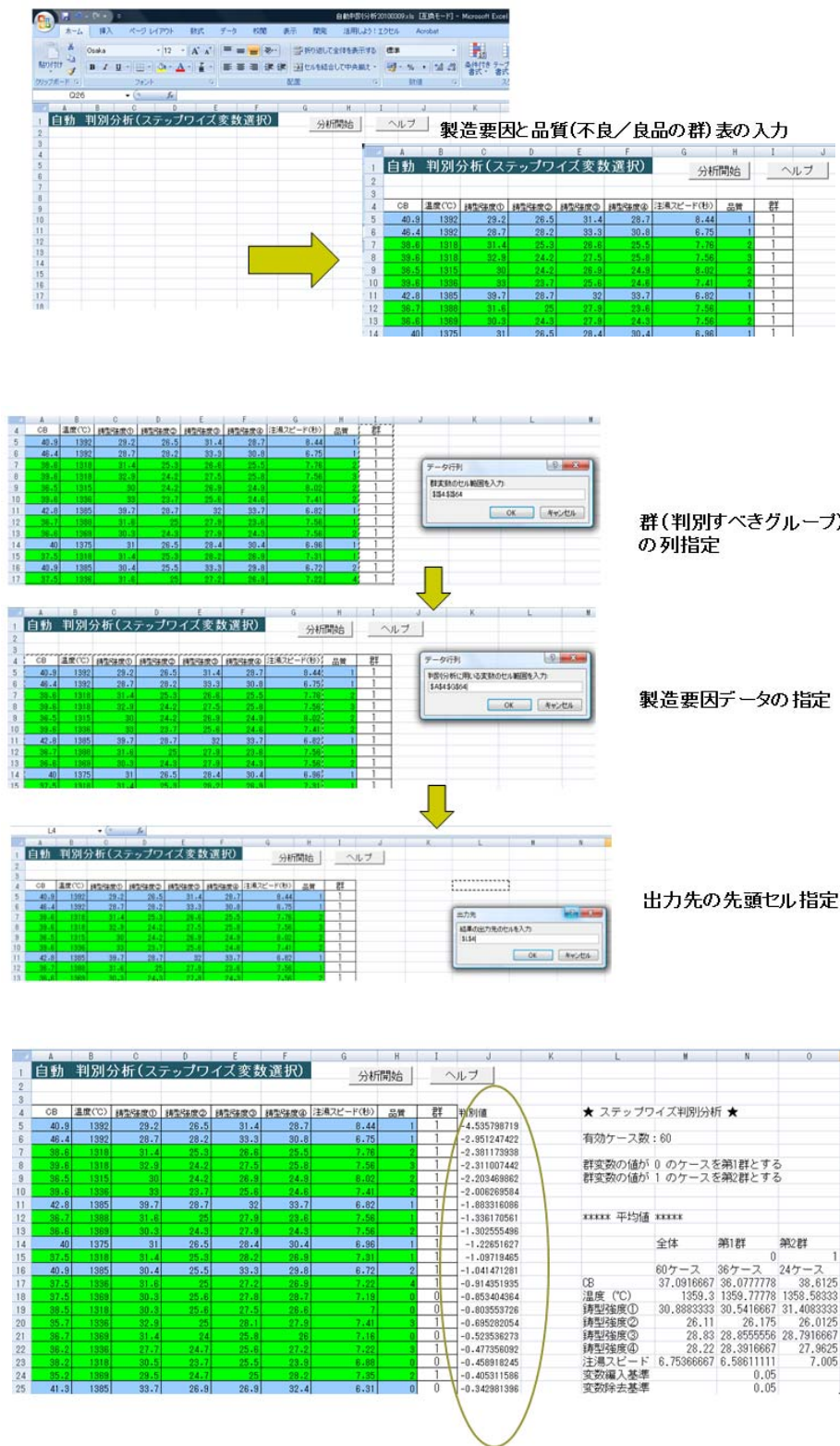


図 2-12 判別値の自動計算プログラム(Ms-Excel)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	自動 判別分析(ステップワイズ変数選択)							分析開始		ヘルプ					
2															
3															
4	CB	温度(℃)	焼型強度①	焼型強度②	焼型強度③	焼型強度④	注湯スピード(秒)	品質	群	判別値	不良確率	★ ステップワイズ判別分析 ★			
5	40.9	1392	29.2	26.5	31.4	28.7	6.44	1	1	-4.535736719	100%	有効ケース数: 60			
6	46.4	1392	28.7	28.2	33.3	30.6	6.75	1	1	-2.351247422	100%	群変数の値が 0 のケースを第1群とする			
7	38.6	1318	31.4	25.5	26.6	25.5	7.76	2	1	-2.381173938	100%	群変数の値が 1 のケースを第2群とする			
8	39.6	1318	32.9	24.2	27.5	25.8	7.56	2	1	-2.311007442	100%				
9	36.5	1315	30	24.2	26.6	24.9	8.02	2	1	-2.203469862	100%				
10	39.6	1326	33	23.7	25.6	24.6	7.41	2	1	-2.006269584	100%				
11	42.8	1383	39.7	28.7	32	33.7	6.82	1	1	-1.353316086	100%				
12	36.7	1369	31.6	25	27.9	29.6	7.56	1	1	-1.336170561	100%	***** 平均値 *****			
13	36.6	1369	30.3	24.9	27.9	24.9	7.56	2	1	-1.302555486	100%				
14	40	1375	31	26.5	28.4	30.4	6.96	1	1	=SUM(\$I\$5:\$I\$14)/COUNT(\$J\$5:\$J\$14)		全体	第1群	第2群	
15	37.5	1318	31.4	25.5	26.2	26.6	7.91	1	1	-1.09719465	100%	60ケース	36ケース	24ケース	
16	40.9	1385	30.4	25.5	33.9	29.6	6.72	2	1	-1.041471281	100%	37.0916867	36.077778	38.6125	
17	37.5	1339	31.6	25	27.2	26.9	7.92	2	1	-0.914351935	100%	CB	1359.3	1359.7778	1358.58333
18	37.6	1369	30.3	25.6	27.6	26.7	7.18	1	0	-0.853453476	93%	温度 (°C)	30.8893333	30.5416667	31.4083333
19	39.5	1316	30.3	25.6	27.5	26.6	7	0	0	-0.803553728	87%	焼型強度①	26.11	26.175	26.0125
20	39.7	1398	32.9	24.2	28.1	27.3	7.41	2	1	-0.695362704	88%	焼型強度②	28.83	28.8555556	28.7916667
21	36.7	1369	31.4	24	25.6	25	7.16	0	0	-0.47356092	83%	焼型強度③	28.22	28.3916667	27.9625
22	36.2	1326	27.7	24.7	25.6	27.2	7.22	3	1	-0.458918245	79%	焼型強度④	6.75366667	6.58611111	7.005
23	36.2	1318	30.5	23.7	25.5	23.9	6.88	0	0	-0.405911586	80%	注湯スピード			
24	35.2	1369	29.5	24.7	25	26.2	7.35	2	1	-0.342981386	76%	変数除去基準			
25	41.3	1385	33.7	26.9	28.9	32.4	6.31	0	0	-0.284513377	73%	変数除去基準			
26	36.2	1366	32.3	24.5	26.3	25.6	7.13	0	0	-0.284513377	73%	変数除去基準			

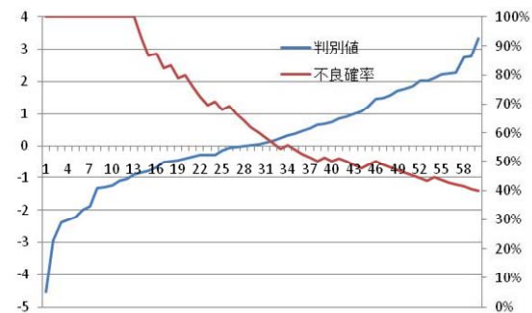
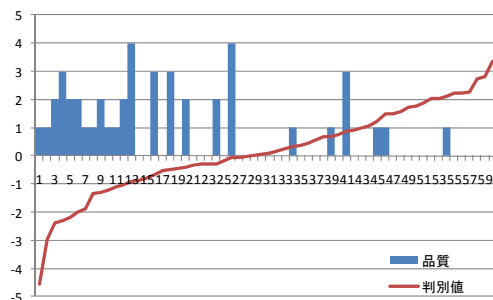


図 2-13 判別値と品質、判別値と不良確率のグラフ
(判別値と不良確率の相関を確認)

図 2-14 で判別値と不良確率の相関を確認することができたら(適切な判別関数が抽出できていることを確認できたら)、連続値になっている判別値を整数化し、いくつかのランク(不良確率を意味する)に分ける(図 2-15 参照)。これをゴールとして、製造要因に対する決定木分析を行う。ここでは、図 2-15 にあるニュージーランド Waikato 大学で開発された Weka を使い、決定木生成アルゴリズムとしては J48 (C4.5)を採用した。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	自動 判別分析(ステップワイズ変数選択)										分析開始	ヘルプ
4	CB	温度(℃)	焼型強度①	焼型強度②	焼型強度③	焼型強度④	注湯スピード(秒)	品質	群	判別値	不良確率	判別値10
5	40.9	1392	29.2	26.5	31.4	28.7	6.44	1	1	-4.535736719	100%	-5
6	46.4	1392	28.7	28.2	33.3	30.6	6.75	1	1	-2.351247422	100%	-3
7	38.6	1318	31.4	25.5	26.6	25.5	7.76	2	1	-2.381173938	100%	-2
8	39.6	1318	32.9	24.2	27.5	25.8	7.56	2	1	-2.311007442	100%	-2
9	36.5	1315	30	24.2	26.6	24.9	8.02	2	1	-2.203469862	100%	-2
10	39.6	1326	33	23.7	25.6	24.6	7.41	2	1	-2.006269584	100%	-2
11	42.8	1383	39.7	28.7	32	33.7	6.82	1	1	-1.003316086	100%	-1
12	36.7	1369	31.6	25	27.9	29.6	7.56	1	1	-1.336170561	100%	-1
13	36.6	1369	30.3	24.9	27.9	24.9	7.56	2	1	-1.302555486	100%	-1
14	40	1375	31	26.5	28.4	30.4	6.96	1	1	=SUM(\$I\$5:\$I\$14)/COUNT(\$J\$5:\$J\$14)		=INT(J14*0.5)
15	37.5	1318	31.4	25.5	26.2	26.6	7.91	1	1	-1.09719465	100%	-1
16	40.9	1385	30.4	25.5	33.9	29.6	6.72	2	1	-1.041471281	100%	-1
17	37.5	1339	31.6	25	27.2	26.9	7.92	2	1	-0.914351935	100%	-1
18	37.6	1369	30.3	25.6	27.6	26.7	7.18	1	0	-0.803553728	87%	-1
19	39.5	1316	30.3	25.6	27.5	26.6	7	0	0	-0.803553728	87%	-1
20	39.7	1395	32.9	24.2	28.1	27.3	7.41	2	1	-0.69536273	62%	-1
21	36.7	1369	31.4	24	25.6	25	7.16	0	0	-0.523536273	62%	-1
22	36.2	1326	27.7	24.7	25.6	27.2	7.22	3	1	-0.477356092	83%	0
23	36.2	1318	30.5	23.7	25.5	23.9	6.88	0	0	-0.458918245	79%	0
24	35.2	1369	29.5	24.7	25	26.2	7.35	2	1	-0.405911586	80%	0
25	41.3	1385	33.7	26.9	28.9	32.4	6.31	0	0	-0.342981386	76%	0
26	36.2	1366	32.3	24.5	26.3	25.6	7.13	0	0	-0.284513377	73%	0
27	37.5	1366	31.7	24.7	29.4	26.7	6.91	0	0	-0.284513377	73%	0

図 2-14 決定木分析のためのデータ準備(判別値の整数化)

決定木分析

入力データ作成 → 決定木生成

Relation asad3

Attribute (B) real
Attribute temperature real
Attribute mold-d real
Attribute mold-u real
Attribute mold-l real
Attribute Pouring real
Attribute Quality [-6,-5,-4,-3,-2,-1,1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12]

8data
40.9,1592,29.2,26.5,31.4,28.7,8.44,-1
41.5,1592,22.8,26.8,27.9,8.5,37,-3
46.4,1592,28.7,28.2,23.3,30.8,6.75,3
42.1,1592,30.7,27.2,22.4,30.1,6.4
41.3,1595,38.7,26.9,26.9,32.4,6.31,-3
40.9,1595,39.4,25.5,33.3,29.8,6.72,-1
42.9,1595,39.7,28.5,33.3,29.8,6.72,-1
40.9,1595,38.8,27.5,29.7,32.7,5.88,-1
41.5,1595,31.8,30.5,31.6,34.5,6.92,-2
43.6,1579,31.8,31.3,32.6,34.6,5.68,1
40.5,1579,34.5,31.3,34.5,35.9,1,-3
39.8,1579,36.2,28.2,28.4,6.47,-2
39.9,1579,32.4,27.4,30.3,29.2,6.19,-2
42.7,1579,32.7,25.8,30.5,28.9,5.72,1
39.9,1593,31.7,29.4,29.1,28.9,6.25,2
42.3,1593,31.8,27.9,27.4,29.1,6.4

決定木作図

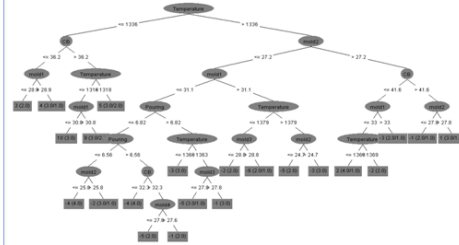


図 2-15 決定木分析

決定木(decision tree)は、非線形回帰分析、判別分析のひとつの方法で、分類の問題では分類木(classification tree)とも呼ばれている。決定木モデルは、説明変数の値を分岐させ、それらを組み合わせて、判別・予測のモデルを構築する。分析の結果は IF-THEN のような簡潔なルールを生成させ、またそのルールを樹木構造で図示することで理解することができる。

決定木分析によって、最終ゴールである品質が合格する(不良品にならないような)製造条件(例えば、溶湯温度、注湯速度、鑄型強度等)の組み合わせを探することができる(逆解析)。図 2-16 にその適用例を示す。これは、判別値が大きなマイナス値(不良確率が低い、ゴール=-1)、ゼロ付近(不安定状態、ゴール=0)、大きなプラス値(不良確率が高い、ゴール=1)という 3 つのグループに分けられるように分析した例である。この例では、溶湯温度が適切である場合に良品に、溶湯温度が高すぎる場合に不良品になる確率が高いことがわかった。さらに、鑄型強度や注湯速度等の諸条件の組み合わせによって不良になる可能性があると考えられた。これらの製造条件を実現するためには、「作業者の意識」から「技能者の意識」に変革することを意味する。網羅的データの計測とその分析により、作業の意味が「見える化」され、技術水準を高めることができるものと期待される。

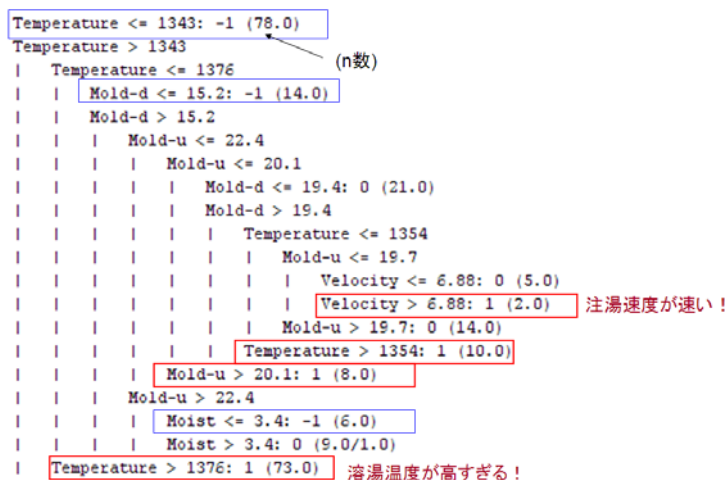


図 3-16 決定木分析の適用例(注湯速度、溶湯温度の条件設定)

(2)ー3 システムの活用

新しい解析手法を活用し、まず不良率 3%以下を目標に不良低減活動を開始した。本システムによる不良品ロットの特定は当初目標 5 分以内に対し、3 分で特定することが可能であることが確認できた。

(2)ー4 開発目標達成状況

表 2-9 にサブテーマ③鑄鉄品品質保証システム統合と活用の開発の目標達成状況を示すが、目標は全て達成できた。

表 2-9 鑄鉄品品質保証システム統合と活用の開発目標達成状況

開発目標	実績	判定・摘要
①計測データのデータベース化 ・個別生産品についての鑄造条件トレース時間 5 分以内	3 分	達成
②データマイニング(不良解析)手法の開発 ・自動で計算できるプログラム開発	開発完了	達成
③システムの活用 ・不良部品のロットの特定≤5 分 ・不良の低減(3%以下を目指す)	3 分 低減活動開始	達成 達成

第3章 全体総括

3ー1 研究開発成果のまとめ

3 つのサブテーマとも所定の成果を上げることができ、表 3-1 のように提案書で記載した技術目標値を達成した。

表 3-1 技術目標値達成状況

サブテーマ名、技術目標	実績	判定・摘要
①鑄造部品個体マーキング装置の開発 ・目視で判読可能なマーキング品質確保 ・メンテナンスフリーの連続稼働時間目標：80 時間/1 週間	・目視で判読可能 ・1.5 ヶ月連続稼働	達成 達成
②鑄造条件自動計測システム開発 ②-1 非接触注湯温度測定システム ・計測精度の確保：±15℃ ・メンテナンスフリーのシステム稼働時間目標：160 時間/2 週間	・±10℃ ・1 ヶ月	達成 達成
②-2 鑄物砂特性の自動計測システム ・各鑄物砂特性の計測精度：±10%以内	・±5%	達成

③ 鋳造品質保証システムの統合と活用		
・ 個別生産品についての鋳造条件等のトレース時間：5 分以下	・ 3 分	達成
・ 計測全データのデータベース化と自動データマイニングの実現	・ データベース化完成 ・ 自動データマイニング可能	達成 達成

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

(1) 研究開発後の課題

① 個体マーキング装置開発

- ・ マーキングを実施する部品の適用拡大(マーキング可能となるよう部品形状を変更する必要あり)

② 鋳造条件自動計測システム

- ・ 測定データと不良の相関を把握し、不良の出ない条件管理の実施

③ 鋳造品質保証システムソフトの統合と活用

- ・ 個体マーキングデータをデータベースに統合化し、不良解析をするなど、不良低減活動への取り組みを開始した。

今後は、鋳造固有技術を解析結果に積極的に取り入れる事により、解析のレベルを上げた不良低減活動を定着させる。

(2) 事業化展開

(2)-1 鋳造基盤の拡充によるビジネスの拡大(鋳鉄部品の受注拡大)

鋳造は、複雑形状品の成形が容易であることから、金属製品製造において重要な地位を占めているが、欠陥を生じやすいプロセス特性があるため、品質信頼性に問題があるとされてきた。本研究開発は、個体マーキングシステムにより、鋳物の高度な品質保証を実現するもので、多少の欠陥はあるものとされてきた従来の鋳造のイメージを覆すものである。鋳物の最大のユーザは自動車産業であり、本研究開発のメンバーの鋳造企業の主たる取引企業も自動車メーカーである。自動車業界では安全性確保が重要テーマになっており、グローバル化の中で高い品質保証が戦略的にも重要になっていることから、自動車産業を第一のターゲット市場とする。

当面は、従来のユーザ企業に、本研究開発の成果である個別部品単位でトレース可能なシステムでの確実な品質保証について理解を得るとともに、実際に不良率が下がり、不良の原因の特定が容易になることをデータで立証する。

さらに従来のユーザ自動車メーカーに加え、社内トレーサビリティ・システムの構築に実績のある自動車メーカーと、データの活用・評価について意見交換を行い、システムの精度と実効性を高めるとともに、その成果を広く公表していく。

メンバーの鋳造企業は、自動車メーカーのみならず、建設機械メーカー、農機具メーカー等の機械産業とも取引がある。納品において不良率の低減を実証し、評価を得られるようにして、売上増を図る。

(2)ー2 個体マーキングシステムを反映した統合システムの商品化

事業の成果を、ソフトウェアベンダにおいて、生産管理、トレーサビリティ・システム、分析システムを備えたパッケージソフトウェアに反映し、統合化して、商品化を図る。個体マーキング装置で効果(トレーサビリティの確保、不良率の画期的低減)をあげるには、このパッケージソフトが必須となる。トレーサビリティの活用コンサルティングサービスなども付帯して、中小の铸造業者向けにより廉価なシステムを提供できるようにすることを目指す。

(2)ー3 事業化による経済波及効果

本研究開発は、機械産業に多くの部品を供給する铸造業の中にあっても、最も多くの铸件を供給する砂型铸造ラインにおいて、個々の铸造部品とその製造データが量産レベルで確実に紐付けできる品質保証システムを構築したものである。砂の飛散等の粉塵や、振動など過酷な環境下の铸造現場において、従来、困難と言われてきた铸件1個1個のトレーサビリティを確保した先進的取り組みで、品質管理が古くから最大の課題となっている多くの砂型铸造企業にとって福音となるものである。

本研究開発により、铸造工程に特化した個体マーキングシステムが比較的廉価で導入できるようになると、これまでIT化に躊躇してきた中小の铸造業者も導入することにより、品質管理情報を一元管理し、トレーサビリティの確保による品質保証力の確保および生産性の向上を達成することが可能となる。

また、必要に応じて川上産業(铸造企業と協力企業)と川下産業(機械企業)が共通のデータモデルを使用することにより、電子データでシームレスにつなぎ、エンジニアリングチェーンを構築すれば、プロセス情報の共有により、トレーサビリティを確保し、不具合に即座に対処することが可能になり、相互信頼関係が強固になることによって、競争力強化が見込まれる。

グローバル化が急進展する中で、時折、リコール問題が発生するが、膨大なリコール対策費用は自動車メーカーが部品メーカー分担するといわれている。今回の個体マーキングによる品質保証システムは、1個1個の品質保証を従前以上に確実に可能にするものであることから、不良率低減による直接的なコストダウンだけでなく、リコールに繋がるような事態を回避できることを考えれば、そのコスト削減効果は計り知れないと考える。

確実な品質保証は、我が国の铸造業、ひいては自動車産業の競争力強化に貢献すると考えられる。さらに、铸造のユーザ産業の電機メーカー、その他の機械メーカーにおいても同様である。

今回の開発メンバーの铸铁企業が、圧倒的な品質信頼性確保のモデルとなって、セミナー等でその成果を積極的に公表することにより、他の中小铸造企業へ波及することが期待される。

(2)ー4 実施体制

事業化の実施体制は下表 3-2 のようである。

表 3-2 事業化実施体制

株式会社浅田可鍛鋳鉄所	本システムを活用した鋳造事業の拡大
甲南大学(長坂教授)	システムの更新、展開への助言等
財団法人素形材センター	本事業成果の業界への普及活動

図 3-1 に事業化の実施体制のイメージ図を示す

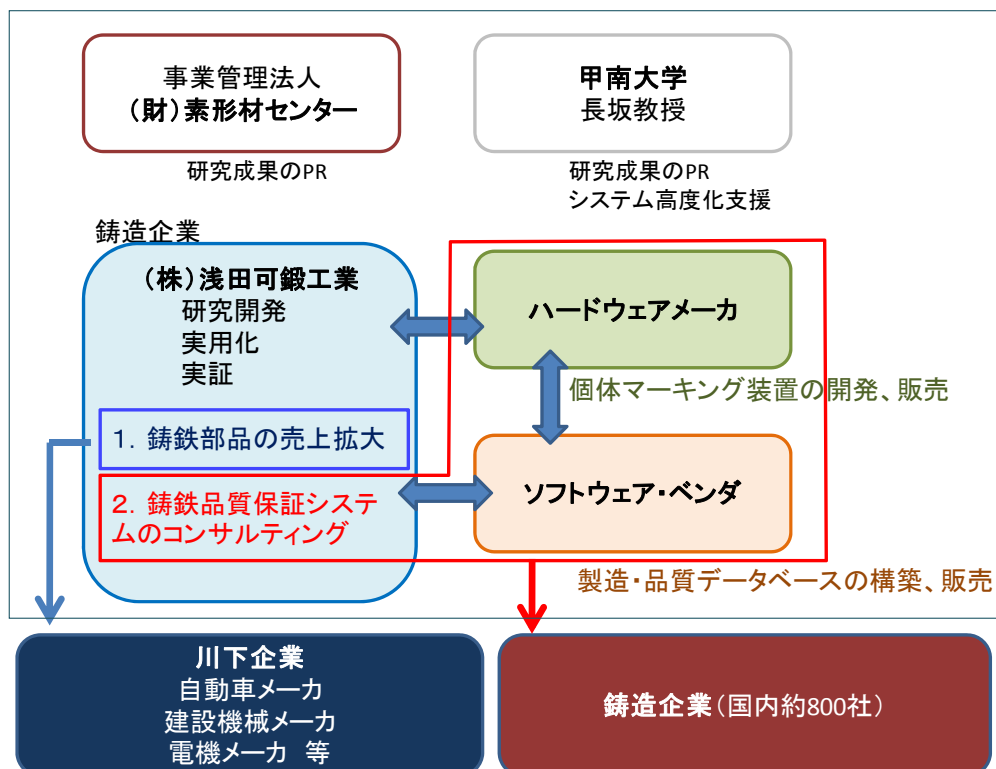


図 3-1 事業化実施体制のイメージ