

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「EBWによる自動車部品の軽量化を実現する
鋳鉄高度熱処理技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成24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	2
1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1－2 研究体制	3
1－3 成果概要	7
1－4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	9
2－1 高密封性、高断熱性熱処理炉の開発	9
2－2 热処理トレーサビリティシステム開発	15
2－2－1 热処理条件の自動計測システム開発	15
2－2－2 自動計測データのデータベース化	18
2－3 データマイニングによる热処理条件の最適化と評価・試作	20
2－3－1 热処理データマイニングによる热処理条件の最適化	20
2－3－2 最適热処理品の評価・試作	31
第3章 全体総括	36
3－1 複数年の研究開発成果	36
3－1－1 開発日程	36
3－1－2 目標達成状況	38
3－2 研究完了後の課題・事業化展開	39
3－2－1 研究完了後の課題	39
3－2－2 事業化展開	39

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

地球温暖化抑制のための燃費向上、CO₂排出規制強化に伴い、自動車など輸送機械に求められている軽量化目標は大変厳しくなっている。自動車では 100kg の軽量化により、燃費は 1.6 km/L 向上するといわれるており、部品一つ一つの軽量化が重要視されている。鋳鉄部品では、特に軽量効果の大きいエンジンシリンダーブロックを筆頭に、アルミニウム等の軽量材への置き換えが積極的に進められた。しかしアルミニウムの強度は鋳鉄の 1/3 程度であること、またコストが鋳鉄の 3 倍以上であることにより、アルミニウムへの置き換えは頭打ちになっている。

例えば、自動車パワーラインに使用される鋳鉄製ディファレンシャルケースは、所要強度の確保が困難なため、アルミニウムへ代替することができない。ディファレンシャルケースはリングギアとのボルト結合によりトルク伝達する部品であるが、溶接歪みの小さい EBW(Electron Beam Welding ; 電子ビーム溶接)で機械加工後に溶接できれば、従来品のボルト締結のための重なり代が不要となり、軽量化が期待できる。また EBW が可能になれば、従来のボルト孔加工等が廃止でき、工数減による低コスト化も可能となる。しかしながら、鋳鉄は鋼に比べカーボン含有量が多く、そのために溶接時に割れを起こしてしまう。そこで、メンバー企業においては、この鋳鉄の溶接割れの原因となるカーボンを脱炭熱処理により低減する方法を試みているが、熱処理条件の制御がうまくいかず、脱炭時に部品表面にスケールが発生してしまったため、機械加工後に部品を安定して EBW することができるのが現状である。

そこで本研究開発では、このような難溶接材の鋳鉄部品を、機械加工後に EBW できる部品に変身させることを可能とする高度な熱処理技術の開発を行うものである。

(2) 研究の概要および目標

溶接が難しい鋳鉄を機械加工後 EBW すべく、本研究開発では「カーボンは酸化するが、鋳鉄は酸化しない」という、矛盾した要求に応えられるシビアな熱処理条件の制御により、カーボンをスケールの発生なしで除去できる脱炭技術を開発する。また、熱処理品した製品の品質評価と EBW 試作評価を実施する。

この技術開発を達成するために、以下の 3 つのサブテーマを取り上げる。各サブテーマにおける技術目標値を併せて示す。

① 高密封性、高断熱性熱処理炉の開発

- ・密封性: ゲージ圧 1.2kPa の内圧を 30 分保持できること
- ・断熱性 : 炉外壁温度 ; 室温 +10°C 以下(現状 : 室温 +30°C 程度)

脱炭保温時の電力 ; 現状比 30% 減

② 热処理トレーサビリティシステム開発

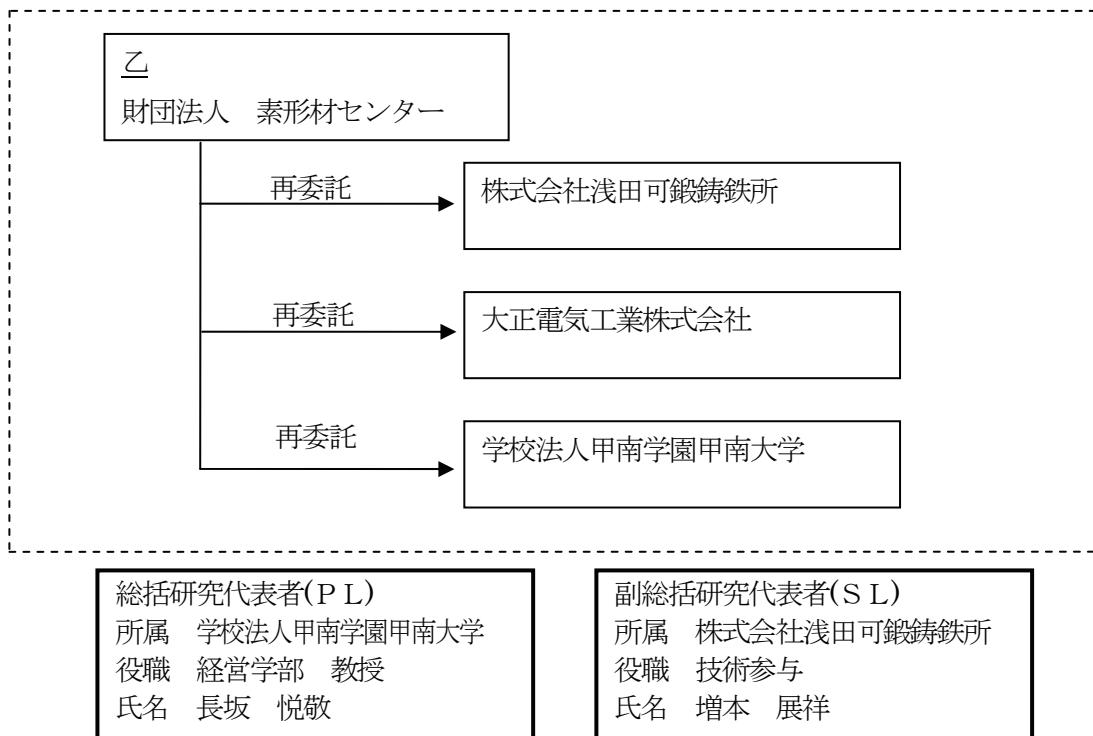
- ②-1 热処理条件の自動計測システム開発
 - ・温度、熱処理雰囲気の時間推移データ収集とサーバーへの自動転送
- ②-2 自動計測データのデータベース化

- ・データベースシステム開発
 - ・データマイニングデータの自動出力
- ③ データマイニングによる熱処理条件の最適化と評価・試作
- ③-1 热処理データマイニングによる热処理条件の最適化
- ・下記品質目標値を満足する最適熱処理条件の選定
 - (i)スケール厚み : 0.1mm 以下 (現状 : 0.3mm 程度)
 - (ii)脱炭層厚み : 2mm 以上
- ③-2 最適熱処理品の評価・試作
- ・最適熱処理品の材料評価とディファレンシャルケースとリングギアのEBW試作

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

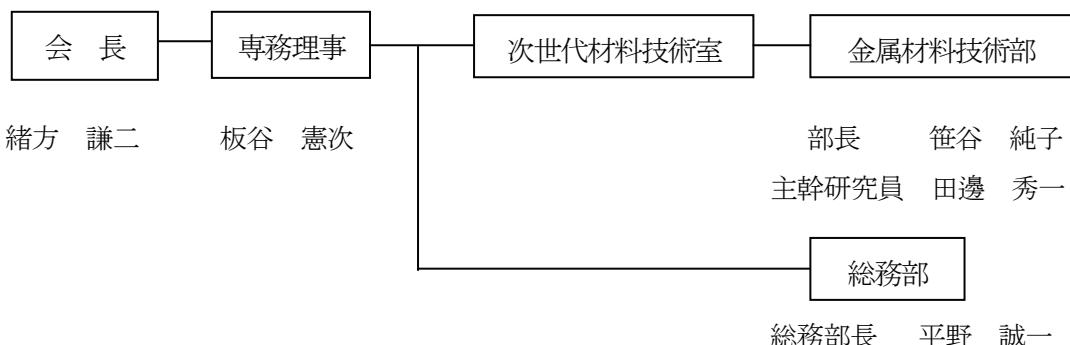
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

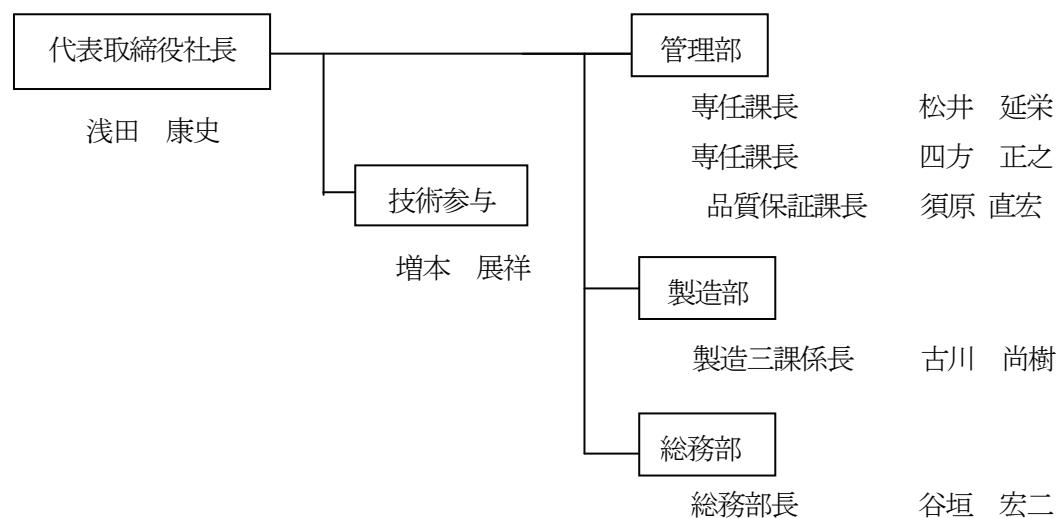
①事業管理者

[財団法人 素形材センター]

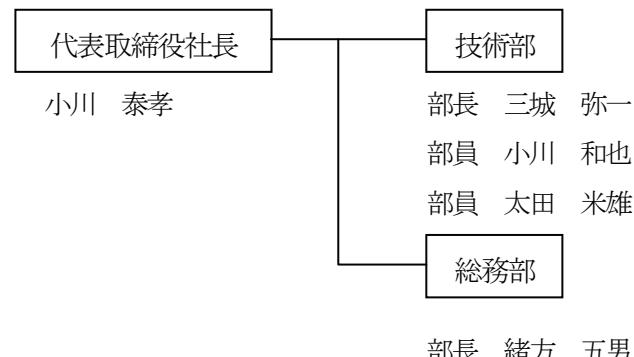


②再委託先

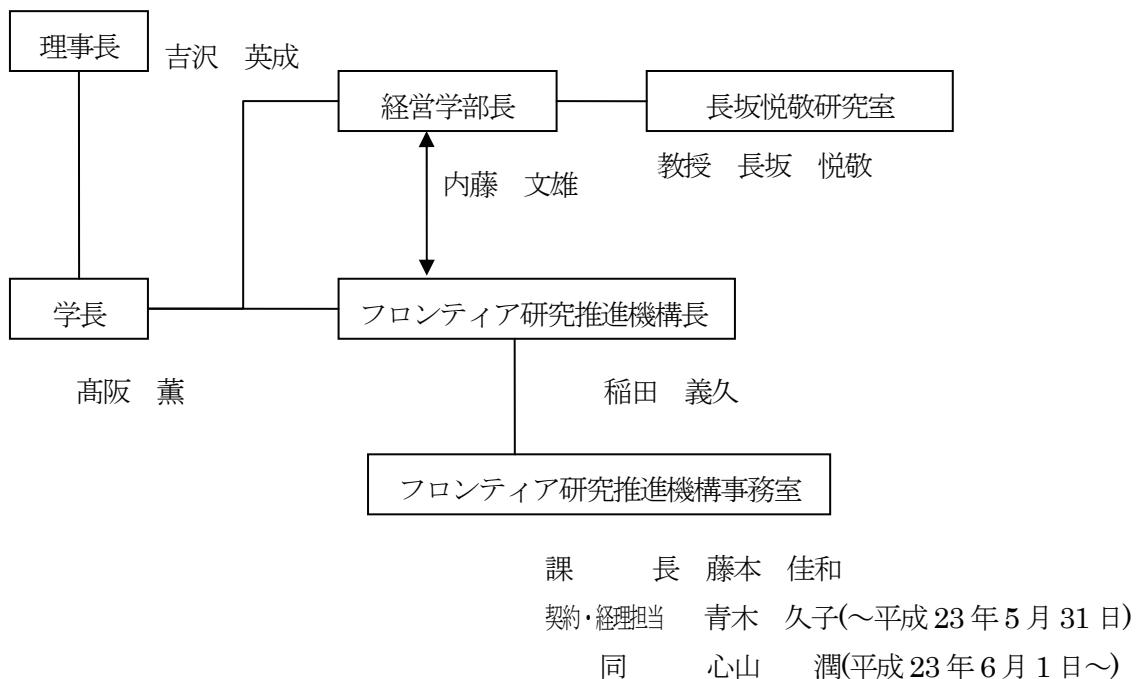
[株式会社浅田可鍛鋳鉄所]



[大正電気工業株式会社]



[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
笛谷 純子	金属材料技術部 部長	④
田邊 秀一	金属材料技術部 主幹研究員	④

【再委託先】※研究員のみ

株式会社浅田可鍛鋳鉄所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
浅田 康史	代表取締役社長	①②③
増本 展祥	技術参与	①②③
松井 延栄	専任課長	①②③
四方 正之	専任課長	①②③
須原 直宏	品質保証課長	①②③
古川 尚樹	製造三課係長	①②③

大正電気工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小川 泰孝	代表取締役社長	①②
三城 弥一	技術部長	①②
小川 和也	技術部員	①②
太田 米雄	技術部員	①②

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 悅敬	経営学部経営学科 教授	②③

(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)	金属材料技術部 部長	笹谷 純子

(再委託先)

株式会社浅田可鍛鋳鉄所

(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

大正電気工業株式会社

(経理担当者)	総務部 総務部長	緒方 五男
(業務管理者)	総務部 総務部長	緒方 五男

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	青木 久子
(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(EBWによる自動車部品の軽量化を実現する鋳鉄高度熱処理技術開発委員会)

	氏名	所属	役職
委員長	長坂 悅敬	学校法人甲南学園甲南大学 経営学部	教授
委員	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
"	小川 泰孝	大正電気工業株式会社	代表取締役社長
	三城 弥一	大正電気工業株式会社	技術部長
"	板谷 憲次	財団法人素形材センター	専務理事
"	笛谷 純子	財団法人素形材センター 次世代材料技術室 金属材料技術部	部長
"	田邊 秀一	財団法人素形材センター 次世代材料技術室 金属材料技術部	主幹研究員

1-3 成果概要

(1) 高密封性、高断熱性熱処理炉の開発

22 年度にワークの取り出しが容易でしかも高密封性・高断熱性を有する高度熱処理炉を開発した。

23 年度はこれに加え、脱炭雰囲気ガスの除湿・製品のスケール低減を目的とした「脱炭雰囲気ガス除湿装置」を開発しその機能を確認した。

(2) 热処理トレーサビリティシステム開発

(2)-1 热処理条件の自動計測システム開発

22 年度は、スケールレス脱炭制御に必要な脱炭温度データと 8 種の脱炭雰囲気データの自動計測システムを開発した。更に 23 年度は脱炭時間を 3 分割し、各ステップの CO/(CO+CO₂)比率が制御できる 3 ステップ制御技術を開発しシステムに織り込んだ。

(2)-2 自動計測データのデータベース化

22 年度に作成したデータベース構成、データベースへの自動・手動入力区分等の仕様に基づき、23 年度は自動計測データのデータベース化を行なった。

以上により、目標以上の特性を有する高度熱処理炉・自動計測システムの開発及び自動計測データのデータベース化は完了した。

(3) データマイニングによる熱処理条件の最適化と評価・試作

(3)-1 热処理データマイニングによる熱処理条件の最適化

23 年度は本事業で開発した高密封性、高断熱性熱処理炉、自動計測、制御装置及びデータマイニングシステムを使用し、脱炭条件の最適化テストを実施した。

まず、従来の経験・知見に基づくテストにより、おおまかな脱炭条件を選定した。次に実験計画法に

基づくテストを実施し、品質目標がクリアできる脱炭条件を絞り込んだ。最後に絞り込んだ条件をベースに、データマイニングにより最適条件を見出した。最適条件で量産部品を3回処理し、従来条件での処理品の脱炭品質と比較した。その結果3回とも脱炭厚は目標の2mm以上で、スケール厚を従来の1/5(0.3mm→0.06mm、目標:0.1mm以下)にでき、最適条件の量産レベルでの妥当性が検証できた。

以上により、脱炭厚は確保しながら、スケール厚を低減するという本事業の主要課題が解決できた。

(3)-2 最適熱処理品の評価・試作

(3)-2-1 最適熱処理品の材料評価

データマイニングで見出した最適熱処理条件でFCD450材を脱炭した後、機械的性質・組織を調査した。その結果、機械的性質は脱炭前のFCD450と同等で、かつ脱炭組織は健全であり材質劣化がないことが確認できた。

(3)-2-2 最適熱処理品のEBW試作

①テストサンプルによるEBWテスト

最適熱処理したFCDサンプルと軟鋼リングサンプルのEBW条件選定テストを実施した。その結果、溶け込み、外観品質及び内部品質とも健全となるEBW条件が見出せた。

②デフケースとリングギアのEBW試作

①項で見出した条件で、2種の最適熱処理デフケースと低炭素浸鋼リングギアのEBWテストを実施した。その結果、両部品とも溶け込み、外観品質・内部品質とも健全な溶接品が得られた。

加えて、部品によっては、従来のボルト締結品に比し、ボルト廃止・ボルト締結部重なり代を廃止することにより13%の軽量化が可能となった。さらに、試作品溶接部の強度評価テストを実施した。

③デフケースとリングギアのEBW品(アッセンブリ品)の強度評価

②項でEBW試作したデフアッセンブリ品の静的強度評価テストを実施した。テスト品を評価装置にセットし、入力軸にテスト品が破断するまでトルクを与えた。その結果、従来品と同等トルクまで耐えられることが確認できた。破断部はデフ内のギア側にあり、EBW部は亀裂、割れもなく問題ないことがわかった。

以上により最適熱処理条件処理したデフケースとリングギアのEBW試作品の溶接部は健全で必要な強度を有していることがわかり、開発目標を達成した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人素形材センター 金属材料技術部

(担当; 部長 笹谷純子、主幹研究員 田邊秀一)

連絡先 Tel 03-3434-3907 Fax 03-3434-3698 E-mail : mail@sokeizai.jp

第2章 本論

2－1 高密封性、高断熱性熱処理炉の開発

(1) 研究内容

【現状の問題点と対応の考え方】

現在、株式会社浅田可鍛鋳鉄所で脱炭している鋳鉄部品は、その表面に 0.3mm 厚程度の酸化スケールが発生してしまう。その原因は熱処理時の炉内雰囲気が適切でないため、脱炭反応と同時に鋳鉄表面の酸化反応が起こるためである。

本サブテーマでは脱炭は促進されるが、スケールは発生しない熱処理が行える高い密封特性を持つ熱処理炉を開発する。高い密封特性の確保は、真空熱処理炉等では普通に行われている。真空熱処理炉では、剛性の高い炉体と兆番式で左右に開閉する扉との間に耐熱温度 200°C程度のシリコンゴム製 O リングを入れ、その周りを水冷し、操業時は炉体に O リングを押し付けて密封性を確保している。

真空炉のような剛性の高い炉体構造で弹性の高いシリコンゴム O リングを採用すれば、密封性は確保できるが、経済的なコストで脱炭処理するためには、生産性の低い兆番式の真空炉タイプは採用できない。

株式会社浅田可鍛鋳鉄所の従来の熱処理炉は、ワークの出し入れを容易にするため、バッチタイプの熱処理炉で一般的に用いられる上下にスライドして開閉する前面扉の構造となっている。密封性は耐熱繊維のテープを炉体側に貼り付け、テープに扉を押し付けて確保するが、テープの弹性が小さいこと、また炉体の熱変形があるため、シール面に微小な隙間が生じ、そこから外気が浸入して密封性が損なわることがあり、シビアな熱処理条件の制御を困難にしている。

そこで本サブテーマでは、前述の 2 種類の熱処理炉の長所を活かした、前面上下スライド扉で、真空炉等で用いられるシリコンゴムの O リングを使い、生産性と密封性を両立できる熱処理炉の開発を目指す。

また、スケール発生以外の問題点として、熱処理のエネルギーコストが高いことがあげられる。

その原因は脱炭には数時間から数十時間かかり、その間 1000°C程度の高温にキープする必要があるため電力費が掛かるためである。

本研究開発では、熱処理のエネルギーコストを低減すべく、炉体の断熱性を向上し、炉壁等からの熱放散を抑制することにより、エネルギー消費を低減することを目指す。

【技術的課題】

- (a) 生産性の高い前面上下スライド扉タイプの炉で、密封性が確保できる炉体構造立案
- (b) 炉の断熱特性を向上させるための方策立案

【課題(a)の解決方法】

上下にスライド開閉する扉で密封性を確保するためには、まずシールする部分の熱変形を防止する必要がある。そのため、炉本体と扉のシール部を水冷ジャケットで水冷し熱変形を防ぐ。

熱変形しやすい扉のシール部は温度が上がりにくい箇所に設け、更に高性能断熱材で温度上昇を防ぐ構造とする。

この方法により、従来の高耐熱繊維テープでなく、比較的耐熱温度が低く、弹性の高いシリコンゴ

ム O リングの採用が可能となる。

また、冷却途中の 350°C 程度の時にワークを取り出す際に、炉の輻射熱や炉内雰囲気の上昇熱により O リングが過熱することを防止する必要がある。

そのために、O リングを取り付けている扉は、上昇時には炉から離れる方向にスライドさせることによって、輻射熱と炉内の上昇熱の影響を最小とし、O リングの温度を耐熱温度以下に保持できるようとする。

【課題(b)の解決方法】

熱処理炉を省エネルギー化するには、炉の断熱特性を上げ、炉からの熱放散、炉外壁の温度上昇を抑制させる必要がある。

そのためには、断熱材の層を厚くすれば、目的は達するが、炉体が大きくなり実用的でない。

そこで、今回は大正電気工業株式会社が最近開発した高断熱特性を持つ断熱材の炉体の適正位置への組み込み、前面扉の断熱構造化により、炉外壁温度を下げて省エネルギーを実現する。

上下にスライド開閉する扉で密封性を確保する方法と、新たな断熱材による炉壁温度低下方法を組み合わせた炉体構造のイメージを図 1-1 に示す。

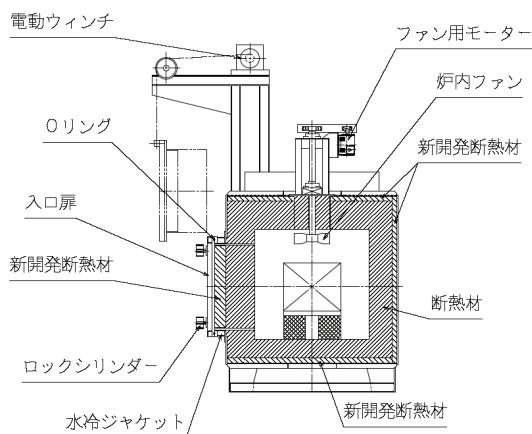


図 1-1 高密封性、高断熱性熱処理炉の炉体構造イメージ

本サブテーマの開発技術目標を以下に示す。

- ① 密封性：ゲージ圧 1.2kPa の内圧が 30 分保持できること
- ② 断熱性：炉外壁温度；室温+10°C 以下(現状：室温+30°C程度)
保温時の電力；現状比 30% 減

(2) 研究成果

(2)-1 密封性の確保と確認

(2)-1-1 密封性の確保

本事業で開発した高密封性、高断熱性熱処理炉の外観を図 1-2 に示す。

熱処理炉の密封性確保のためには、炉の開口部の密閉性の確保、発熱体と電流導入端子の密閉性に加え、本炉の場合雰囲気攪拌ファンを設置しているので、その取り付け部の密封性の確保も肝要である。

熱処理炉の各部位で密封性確保のために採用した主要方策を以下に記載する。

① 開口部と扉のシール性確保

①-1 熱変形の防止

図 1-3 に示すように、炉本体開口部と扉のシールする部分の熱変形を防止するため、炉本体開口部と扉のシール部は断熱材により温度の上昇を防ぐ構造とした。

さらに水冷ジャケットで水冷することにより温度上昇を防ぎ、熱変形を防止しシール性能を向上させた。

①-2 O リングによるシール性の確保

図 1-3 に示すように、扉側の水冷部に耐熱シリコンゴム製 O リングを装着し、空圧クランプシリンドラで水冷されている炉本体開口部に押し付けることにより高いシール性を確保した。



図 1-2 高密封性、高断熱性熱処理炉外観

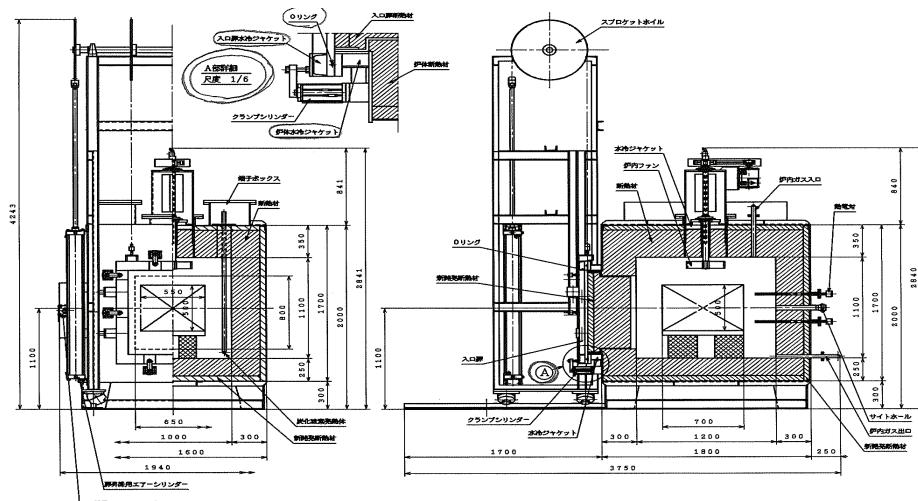


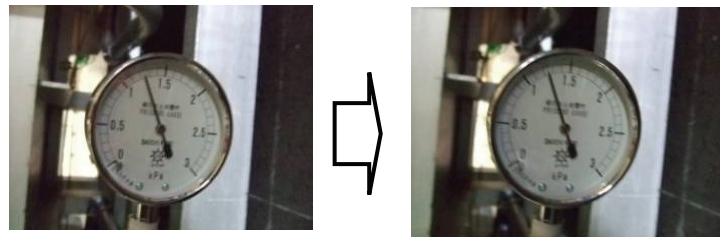
図 1-3 高密封性、高断熱性熱処理炉構想図

② 棒状セラミックヒータ(発熱体)のシール性確保

棒状セラミックヒータのシール性確保のため、発熱体の電流導入端子(銅の丸棒)と、端子支え絶縁版に O リングをセットしリークを防止した。この方法は、真空炉では実績があるが、通常の熱処理炉には殆ど使われていないが本開発炉は高度の密封性を要求されるため、この方法を適用し開発した。

(2)-1-2 密封性の確認

変性炉から圧送圧(ゲージ圧)1.2kPa で N₂ ガスを密閉した炉内に供給した後、供給バルブを閉じ 30 分間の圧力変化を調べた。圧力ゲージを使った炉内圧力測定状況を図 1-4 に示す。3 回行なった測定結果を表 1-1 に示す。いずれも所定圧を投入後(1.20kPa)、30 分経過後の圧力は投入時の圧力を保っていることから技術目標を達成できた。



(a)供給バルブ閉(測定開始)

(b)30 分経過後

図 1-4 炉内圧の測定状況

表 1-1 炉内圧力測定結果

テスト No.	測定開始 (圧力投入時)	15 分後	30 分後
1	1.20kPa	1.20kPa	1.20kPa
2	1.20kPa	1.20kPa	1.20kPa
3	1.20kPa	1.20kPa	1.20kPa

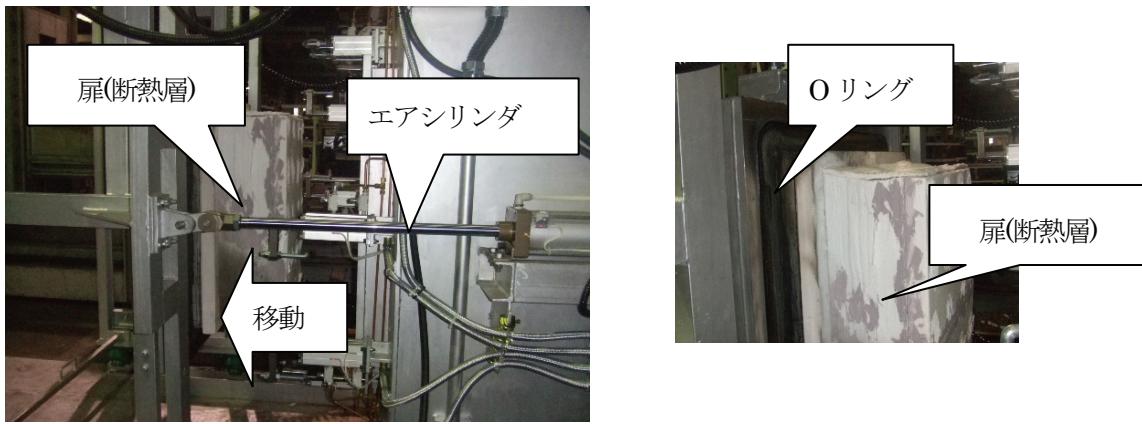
(2)－2 断熱性の確保と確認

(2)－2－1 断熱性の確保

断熱特性を上げ、炉の消費電力を押さえるために採用した断熱性確保の方策を以下に示す。

① 前面扉の断熱構造化

前面扉の断熱層は通常の熱処理炉では比較的薄いが、本開発炉では、炉体と同じ 300mm の厚さの断熱材層を前面扉の炉体側に設け、その断熱材層を炉体内に装入する構造にして、扉からの放熱を最小にした。この構造は扉が開閉時にシリンダにより炉開口部に対し平行に移動する方法を採用したことにより可能となった(図 1-5)。すなわち、前面上下スライド方式の扉で平行移動機構がないと、扉開→扉上昇時に 300mm の断熱層が炉体入り口と干渉するので扉を開けることができない。



(a)エアシリンダにより扉が炉体から離れる

(b)扉へのOリングセット状況

図 1-5 扉開時に扉がエアシリンダにより炉体から離れる説明図

また、この扉はスライド構造にすることにより、450°C程度でワークを取り出す際に、炉の輻射熱や炉内雰囲気の上昇熱でOリングが過熱されて熱劣化することを防止している。即ちOリングを取り付けている扉が上昇前にエアシリンダにより水平に炉から離れる方向に移動し、その後、上方にスライドする構造によって、炉内の熱によるOリングの昇温を最小とし、密閉性確保に最も寄与しているOリングの温度を耐熱温度(200°C)以下に保持している。

② 炉体の断熱材の適正配置

従来からある断熱材(セラミックファイバー)と、新開発断熱材の組み合わせを最適化し、断熱性を確保した。断熱層の厚みは、これまでの経験から最も経済的で効果の大きい300mmとした。開発断熱材は静止空気層より断熱特性がよく、従来材の10倍以上の断熱特性を有する。しかし、耐熱温度が600°Cと低く、また割れやすく加工性が低い欠点を持つため、断熱層の最外層のみに使用し炉壁の鋼板と従来断熱材とサンドイッチすることで、その欠点をカバーしつつ、その特性を発揮できる構造としている。

(2)-2-2 断熱性の確認

① 炉外壁温度

炉の温度を900°Cで6時間キープした後の炉側面外壁中央部温度を熱電対式温度計を用いて測定した。その時の室温も同一の温度計を用いて測定した測定結果を表1-2に示す。同表に示されるように、炉壁温度と室温の差は9.8°Cであり、技術目標値の10°C以下を満足する結果であった。

表 1-2 炉外壁の温度測定結果 (炉温 900°C×6 時間保温後に測定)

炉壁温度	室温	上昇温度 (炉壁温度-室温)
29.6°C	19.8°C	9.8°C

②保温電力

断熱特性向上による保温時の消費電力の評価は、厳密には同一仕様で断熱特性を変えた炉と比較すべきであるが、実際上は不可能なので、ここでは従来の脱炭炉と今回開発での脱炭炉における、炉内加熱室壁の単位表面積あたりの消費電力を比較することとした。

表 1-3 は開発炉と株式会社浅田可鍛鉄所で現在可動している脱炭炉の保温時の消費電力を脱炭保温温度(1000°C程度)に昇温後、6 時間保温した時点での比較したものである。保温電力は各々の炉の制御盤についている積算電力計により測定した。

表 1-3 加熱室壁単位面積あたりの保温時消費電力の比較

区分	①保温時の消費電力	②加熱室内の壁表面積	③加熱室壁単位表面積当たりの消費電力(①/②)
今回開発炉 (加熱電力 : 90kW)	16.0kW・h	7.24m ²	2.20kW・h/m ²
従来炉 (加熱電力 : 180kW)	46.6kW・h	14.64m ²	3.18kW・h/m ²

表 1-3 より、加熱室内の壁単位表面積当たりの消費電力は、開発炉が従来炉より 0.98kW・h 小さい。この値は、従来炉加熱室壁内の単位表面積当たりの消費電力の 31%減に相当し、技術目標値である従来炉比 30%以上の低減を達成した。

(2)-3 脱炭雰囲気ガスの露点改善

22 年度開発した高度熱処理炉を使った脱炭処理予備テストにおいて、雰囲気ガスの露点が予想値より高いことがわかった。

露点が高いと鋳造品のスケール発生が多くなる。そこで 23 年度では露点を低下させるため、脱炭雰囲気ガス除湿装置を開発した。図 1-6 に今回開発した脱炭雰囲気ガス除湿装置の除湿方法、装置外観を示す。本装置は図に示すように、2 本の吸着塔(吸着剤：ゼオライト)を有しており、一方で雰囲気ガスの除湿、もう一方でゼオライトの再生を行い、12 時間毎に吸着塔を切り替えることにより、連続的な除湿を可能としている。

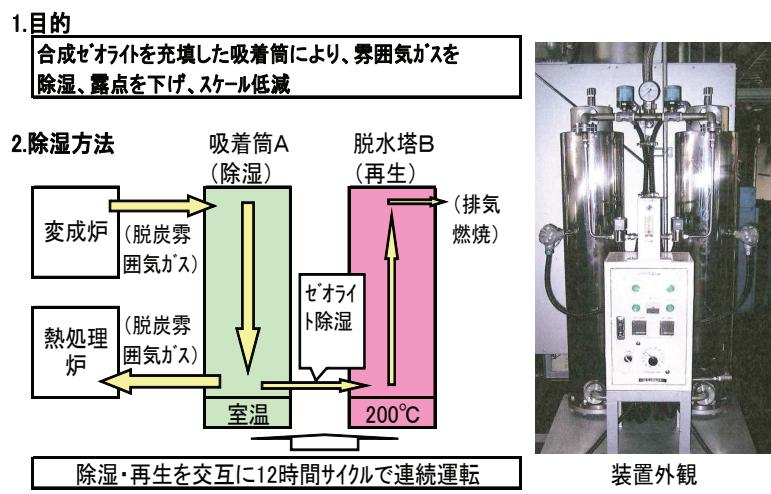


図 1-6 脱炭雰囲気ガス除湿装置の除湿方法、装置外観

図 1-7 に除湿機能の確認結果を示す。機能を確認するガスは、バージガスである窒素ガスと実際の脱炭雰囲気ガスの 2 種類を使用した。

No	確認ガス	ガス流量	セオライト除湿用ガス流量	再生筒加熱温度	入り口露点	出口露点	露点降下
1	N ₂ ガス	100L/min	30L/分	200°C	8.1°C (写真1)	-54.7°C (写真2)	62.8°C
2	脱炭雰囲気ガス [CO/(CO+CO ₂)=85%]	100L/min	↑	↑	11.2°C (写真3)	-35.7°C (写真4)	46.9°C



脱炭雰囲気ガスの露点降下は46.9°Cで、当初目標値30°C以上をクリアしておりOK

図 1-7 除湿機能の確認結果

図 1-7 より、装置入口の露点と装置出口での露点を比較した結果、露点降下は N₂ ガスで 62.8°C、雰囲気ガスで 46.9°C であり、いずれも当初目標の 30°C 以上を満足している。

2-2 热処理トレーサビリティシステム開発

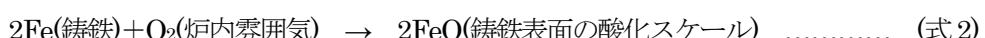
【現状の問題点と対応の考え方】

脱炭処理は、1000°C程度の高温、弱酸化性の雰囲気中で、鉄鉱表面の C を酸化／燃焼させることにより、鉄鉱表面から C を除去する処理法である。そのときの反応は、(式 1) のように表される。



すなわち、鉄鉱表面の C を弱酸化性ガスである CO₂ で燃焼させ CO ガスとして炉外に放出する。

この時、雰囲気制御が適切でないと CO₂ が過剰となり、脱炭反応と同時に酸化スケールが生成する反応(式 2)も進む。



(式 1) 及び(式 2)の反応ともに酸化反応であり、同じ酸化雰囲気中で起こるため、鉄鉱中の C の酸化を促進し、しかも鉄鉱が酸化しないいわゆるスケールレス脱炭が実現できる雰囲気の条件範囲は非常に狭い。このスケールレス脱炭を実現すべく以下 2 つのサブテーマから成る、熱処理トレーサビリティシステムを開発した。

2-2-1 热処理条件の自動計測システム開発

(1)研究内容

【技術的課題】

溶接可能な鉄造品を安定した品質で得られる熱処理条件を適切に選定しコントロールするために、熱処理条件の自動計測をシステム化することが技術的課題である。なお、主要な熱処理条件としては、脱炭温度、時間、及び脱炭雰囲気が挙げられる。特に、雰囲気ガスのコントロールが、第一義に脱炭部の品質を左右する大きな要因となることから、雰囲気ガスデータを確実に計測する必要がある。

【課題の解決方法】

ここで行う自動計測は、鋳鉄の熱処理においては新しい取り組みであるが、過去、株式会社浅田可鍛鋳鉄所は鋳造分野において、既にデータマイニングを前提とした鋳造条件の自動計測システムを作成、運用している。この経験を活かして、今回の熱処理条件自動計測システムにおいても、株式会社浅田可鍛鋳鉄所、大正電気工業株式会社、及び学校法人甲南学園甲南大学が共同して、開発の初期段階で、最終のデータマイニングまでを想定したシステム作りを行うものとする。

本サブテーマの開発技術目標を以下に示す。

- ・温度、熱処理雰囲気の時間推移データ収集とサーバーへの自動転送

(2) 研究成果

(i)スケールレス脱炭のための自動計測項目と制御項目

スケールレス脱炭条件を選定するための自動計測項目は、脱炭温度と脱炭雰囲気ガス比率等のデータ(炉入り口及び炉内の CO ガス比率、CO₂ ガス比率、CO/(CO+CO₂)ガス比率等)とした。脱炭雰囲気ガスは、都市ガスとエアを混合し、1000°C程度に加熱した变成炉内で不完全燃焼させ、冷却し水分を取り除くことによって得られる。

スケールレス脱炭条件は、脱炭工程において、炉中雰囲気の組成を最適値になるよう都市ガス流量を制御することにより得られる。

図 2-1 に今回開発した变成炉とその制御部、図 2-2 にガス分析装置外観を示す。



(a)燃焼筒とガス水冷装置(手前)



(b)都市ガス、空気、窒素流量設定装置

図 2-1 变成炉



図 2-2 ガス分析・制御装置

(ii)3ステップ制御

脱炭工程は、①表面Cが盛んに酸化され脱炭される初期、②表面から少し離れたCが表面に拡散移動し酸化され脱炭される中期、③表面から離れたCが拡散により表面に移動し酸化され脱炭される後期の3つの時期に区分される。

各時期で脱炭に必要なCO₂は、表面Cが酸化、脱炭される初期が最大で、Cの長距離の拡散移動が必要な終期は最小となる。

もし終期に初期と同じ量のCO₂があれば、余分なCO₂はスケール発生のために消費されてしまう。このようなことから、脱炭の総時間を3分割して、各ステップでの炉内雰囲気中の目標CO/(CO+CO₂)比率を設定し、その設定値に保持すべく都市ガス供給量を制御するシステムを開発した。

(iii)システムの機能確認

開発装置全体の試運転、調整後に本システムの機能確認テストを実施した。

脱炭温度は約1000°C、脱炭時間については3時間毎の3ステップに分け、各ステップのCO/(CO+CO₂)比率目標値を設定した。

図2-3は3ステップ制御時のCRTの表示画面である。



図2-3 3ステップ制御時のCRT表示画面例

図2-4はCRT画面に対応した制御状況、データの時間推移を表すグラフである。図中の太点線で示す各ステップのCO/(CO+CO₂)制御目標比率に対し、その実測値である炉内CO/(CO+CO₂)%の線が良く一致しており精度のよい制御が行われていることがわかる。このグラフより、すべての脱炭条件データの見える化が可能となった。

本システムにより、このサブテーマとして掲げた技術目標である温度、熱処理雰囲気の時間推移データ収集とサーバーへの自動転送が可能となった。

さらに脱炭雰囲気の3ステップ制御が開発でき、脱炭条件データの見える化も可能となった。

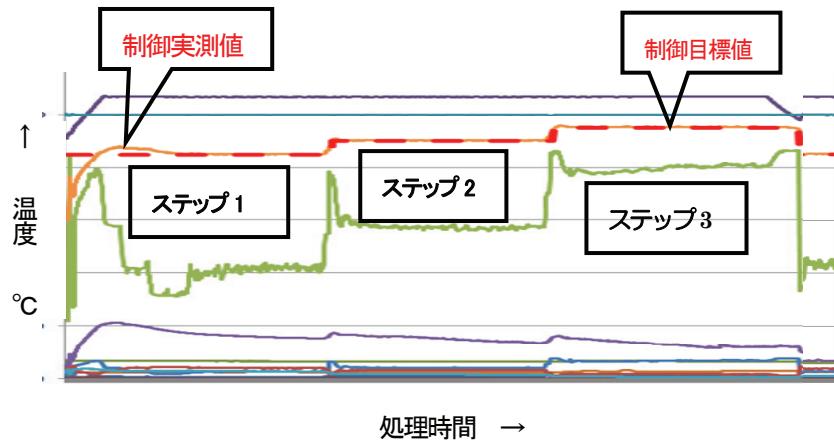


図 2-4 脱炭条件データ時間推移グラフ

2-2-2 自動計測データのデータベース化

(1) 研究内容

【技術的課題】

本テーマでは主要熱処理条件を自動計測し、そのデータとその時の脱炭品質(脱炭層厚さ、スケル厚さ)を紐付け、データベース化し、更に次のステップのデータマイニングデータが自動で出力できるデータベースシステムを開発する。

開発にあたっての留意点は、次のステップのデータマイニング結果を想定しながら、システムが有効に機能し、しかも安価で使いやすいものとなるシステム設計にある。

【課題の解決方法】

株式会社浅田可鍛鉄所と学校法人甲南学園甲南大学は、過去に鋳造トレーサビリティ・システム構築に取り組み、その中で計測データベースシステム化を行った。この技術を活用し、最適な脱炭条件を抽出しコントロールするためのデータマイニングを前提として、製品品質と紐付けされた熱処理製造条件のデータベース化を行う。

本テーマの技術目標を以下に示す。

- ①データベースシステムの開発
- ②データマイニングデータの自動出力

(2) 研究成果

(2)-1 データベースシステムの開発

過去の鋳造トレーサビリティ・システム構築時の経験を生かした、データベース構成を図 2-5 に示す。

【固定データ(データ事例)】	【設定するが変動するデータ】	【変動するデータ】	【品質データ】
<ul style="list-style-type: none"> ・テストNo(シリアルNo) ・処理日時 ・雰囲気制御ステップ数(1~3) ・脱炭時間 (18Hr) ・脱炭温度(1070°C) ・ワーク処理重量(25Kg) ・ワーク処理段数(3段) ・攪拌ファン回転数(950rpm) ・冷却水温度(25°C) 	<p>(データサンプリング間隔)</p> <p>・連続測定→昇温開始から1分毎のデータをデジタルデータ化する</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・脱炭層厚さ(mm) ・スケール厚さ(mm) ・その他不具合 ・品質確認サンプル設置場所(段、中央、隅)

図 2-5 热処理トレーサビリティシステムデータベース構成

図中の中央の 2 つの欄が変動するデータ群であり、左側は都市ガス流量等、設定するがバラツキにより変動するデータ群で、右側は脱炭炉入口 CO 比率等の雰囲気制御に連動して変動するデータ群である。これらの変動データは、脱炭熱処理中 1 分間隔でサンプリングしデータベース化している。

また右端は品質データ欄で、処理後のサンプルを検査して得たデータを手入力する。品質データは脱炭条件と紐付けされている。

(2)-2 マイニングデータの自動出力

脱炭処理中のデータは全てデータベース化されているが、データマイニング解析にあたっては、そのうち解析対象のデータのみを抽出する必要がある。その抽出方法を図 2-6 に示す。図の左側に示してある全ての自動計測項目の中から、必要なデータ項目の出力項目欄に○をつけることにより、その項目のデータを抽出することができる。

The screenshot shows a software interface for data mining. On the left, there is a table titled "抽出条件 選択・入力" (Extraction Conditions Selection/Entry) with columns "フィールド名" (Field Name) and "出力項目" (Output Item). The table has 27 rows, numbered 1 to 27. Rows 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, and 27 have an empty "出力項目" column. Rows 12 and 17 have an "X" in the "出力項目" column. Row 27 has a dropdown menu icon in the "出力項目" column.

On the right, the main area is titled "「抽出データ」シートに出力されます" (Output to the 'Extracted Data' sheet). It contains three sections labeled "条件1" (Condition 1), "条件2" (Condition 2), and "条件3" (Condition 3). Each section has fields for "選択" (Selection), "項目番号" (Item Number), and "範囲指定" (Range Specification) or "指定" (Specify). There are also radio buttons for "AND" and "OR".

At the bottom right of the interface, the number "18" is visible.

図 2-6 マイニングデータ自動出力抽出

図2-7に、上記操作による、マイニング解析に使用するデータ群の自動抽出事例を示す。

日時	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.6	0.46	20.6	1.05	95.20985401	3	95	
556	2011/10/25 4.04.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.6	0.46	20.6	1.05	95.20985401	3	95
557	2011/10/25 4.05.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.6	0.44	20.62	1.03	95.29680365	3	95
558	2011/10/25 4.06.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.6	0.44	20.45	1.03	95.29680365	3	95
559	2011/10/25 4.07.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.5	0.49	20.45	1.05	95.29685401	3	95
560	2011/10/25 4.08.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.5	0.45	20.49	1.03	95.29680365	3	95
561	2011/10/25 4.09.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.1	0.44	20.41	1.03	95.29680365	3	95
562	2011/10/25 4.10.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.4	0.53	20.37	1.03	95.29680365	3	95
563	2011/10/25 4.11.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.4	0.54	20.42	1.03	95.29680365	3	95
564	2011/10/25 4.12.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.3	0.54	20.39	1.05	95.20547945	3	95
565	2011/10/25 4.13.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.3	0.53	20.34	1.03	95.29035208	3	95
566	2011/10/25 4.14.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	1.9	0.51	20.32	1.03	95.29035208	3	95
567	2011/10/25 4.15.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.3	0.59	20.22	1.05	95.20328917	3	95
568	2011/10/25 4.16.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.2	0.58	20.29	1.05	95.19890261	3	95
569	2011/10/25 4.17.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.3	0.54	20.32	1.05	95.19230769	3	95
570	2011/10/25 4.18.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.3	0.58	20.32	1.04	95.2402746	3	95
571	2011/10/25 4.19.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.1	0.57	20.32	1.03	95.28388278	3	95
572	2011/10/25 4.20.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.2	0.59	20.24	1.05	95.19670631	3	95
573	2011/10/25 4.21.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.2	0.61	20.24	1.05	95.19230769	3	95
574	2011/10/25 4.22.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.3	0.57	20.28	1.03	95.27856004	3	95
575	2011/10/25 4.23.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	1.9	0.61	20.28	1.03	95.27856004	3	95
576	2011/10/25 4.24.00	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.2	0.61	20.13	1.05	95.19010536	3	95
577	2011/10/25 4.25.00	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.2	0.64	20.21	1.05	95.18780101	3	95

図2-7 マイニングデータ自動抽出事例

以上のように、本サブテーマの技術目標である①データベースシステムの開発、②データマイニングデータの自動出力を達成した。

2-3 データマイニングによる熱処理条件の最適化と評価・試作

【実施内容と技術的課題】

既に医療分野(各種検査データから病気や治療法を特定するクラスタリング解析技術)や故障解析(決定木アルゴリズム)等で応用されているデータマイニングを熱処理分野に使い易い形で応用すること、またソフトを適切に使用して、最適熱処理条件を求められるようにすることが本サブテーマの課題である。

2-3-1 热処理データマイニングによる热処理条件の最適化

(1) 研究内容

【課題の解決法】

データマイニング手法の流れは、以下のようである。

- ・ 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)

以上の手順により、良品となる熱処理製造条件を発見し現場にフィードバックすることがその目的である。本研究開発では、脱炭は進むが、スケールは発生しないという矛盾した課題を解決する必要があるので、膨大なデータを自動的に解析できるデータマイニング手法を使い、最適熱処理条件を見つけ出す。脱炭品質目標は以下のとおりである。

①スケール厚み : 0.1mm 以下

②脱炭層厚み : 2mm 以上

(2) 研究成果

データマイニングは、管理された製造工程において、各工程間のゆらぎに起因する不具合を扱うものである。データマイニングを効率的に実施するには、製造工程が管理状態にあることが肝要となってくる。

そこで脱炭熱処理工程を管理状態にするため、まず経験技術により、脱炭条件を選定し、更に実験計画法により条件を絞り込み、絞り込んだ条件を基にして検証テストを実施した。

(2)-1 基礎テストによる脱炭条件の選定

量産レベルでのスケールレス脱炭を実現するためには、「ワーク表面が適正組成の新鮮な雰囲気ガスに常に接触」していることが必要である。

この条件を実現すべく、以下の手順で脱炭基礎テストを実施した。

手順①：ワークを1個処理時の最適雰囲気ガス組成選定

図3-1に、ワークを1個処理した時の最適雰囲気ガス組成選定テストの内容とテスト結果を示す。

雰囲気ガスを制御することにより、脱炭厚の目標値 2mm 以上、スケール厚の目標値 0.1mm 以下を満足し、且つ試作品の外観は黒ずみ及びスケールの剥離が起こらないものが製作できた。

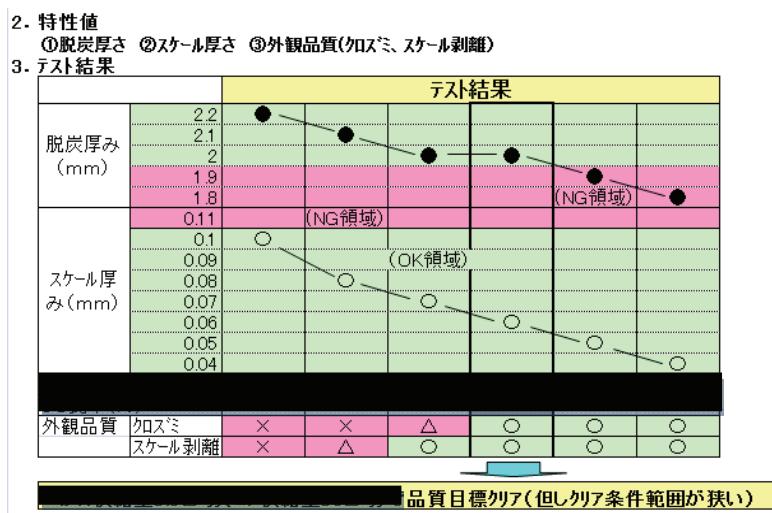


図3-1 ワーク1個処理時の最適雰囲気ガス組成選定テスト内容と結果

図3-2の脱炭厚、スケール厚、外観品質の判定結果でもわかるように技術目標値をクリアしている。なお、このテストは脱炭熱処理を行っている間、全て一定の雰囲気組成で脱炭した。

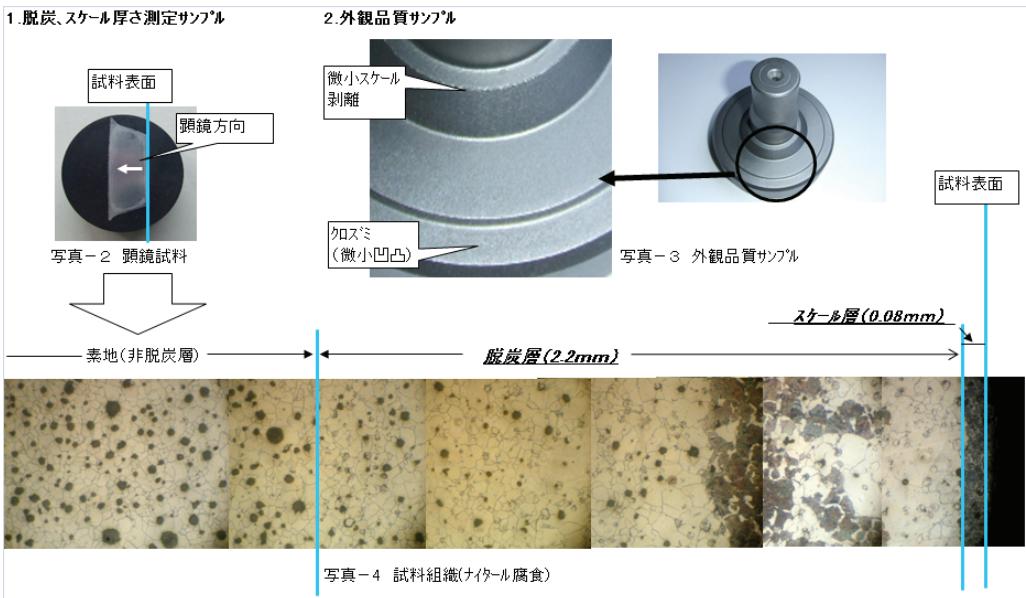


図 3-2 脱炭厚、スケール厚、外観品質の判定結果

そこで、次に脱炭品質を向上させるために、脱炭時間を 3 分割し、各ステップで異なった雰囲気ガス組成で脱炭熱処理する 3 ステップ制御によるテストを実施した。図 3-3 に 3 ステップ制御のテスト結果を示す。この結果からもわかるように、3 ステップ制御を用いた場合、スケール厚みを増やすずに、脱炭厚がアップし、脱炭品質も向上することがわかった。

・脱炭品質		前回テスト(1ステップ ^{制御})						3ステップ ^{制御}
脱炭厚み (mm)	2.2	●	●	●				●
	2.1	●	●	●				
	2				●			
	1.9				●			
	1.8				●			
	0.1	○						
スケール厚 み(mm)	0.09							
	0.08		○					
	0.07			○				
	0.06				○			
	0.05				○			
	0.04				○			
外観品質	クロスミ	×	×	△	○	○	○	
	スケール剥離	×	△	○	○	○	○	
品目値余裕を持ってクリア								

図 3-3 3 ステップ制御テスト結果

このようにワーク 1 個での最適組成雰囲気ガス選定テストにおいて、最適な組成の雰囲気ガスを選べば、ワーク 1 個処理では脱炭目標品質がクリアできること、また 3 ステップ制御を採用すれば、スケール厚を増すことなく、脱炭厚をアップできることがわかった。

手順②：炉内天井ファンによる雰囲気攪拌により、フルチャージで雰囲気の滞留防止

脱炭は雰囲気ガスとワーク表面間の界面反応であるため、ワーク表面は新鮮な雰囲気ガスと常に接

触している必要がある。ワーク表面に雰囲気が滞留すると、脱炭に必要な CO₂ ガスが不足し反応が進まない。前項のワーク 1 個単位では炉内の個数が少ないのでその影響を受けにくいが、炉内へ投入するワークがフルチャージされる場合は、この問題が発生することが懸念される。そこで、高度処理炉の天井に設置した攪拌ファンにより雰囲気を攪拌して、ガスの滞留を防止することとした。

手順③：フルチャージでの脱炭品質確認テスト

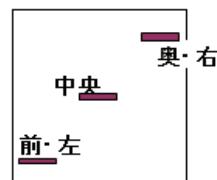
炉内に天井ファンを配することにより、フルチャージにおいてワーク表面で脱炭雰囲気ガスの滞留が起らぬことが確認できたので、ワークをフルチャージして、手順①で示す 3 ステップ制御で選定した雰囲気条件で処理し、脱炭品質のばらつきを測定した。図 3-4 にワーク荷姿と脱炭品質確認用サンプルのセット位置を示す。

①外観品質確認用サンプル(荷姿は右写真)

$$122\text{kg} \times 0.82\text{Kg} = 100\text{Kg}$$

②脱炭品質確認サンプル

設置位置(各段3ヶづつ、下図)



$$3\text{ケ/段} \times 4\text{段} = 12\text{ケ}$$

$$12\text{kg} \times 0.16\text{Kg} = 0.72\text{Kg}$$



写真：フルチャージ荷姿(4段積)

図 3-4 ワーク荷姿と脱炭品質確認用サンプルのセット位置

図 3-5 に脱炭品質測定結果を示す。図よりワークの置き場所によるバラツキは殆どなく、どのセット場所のサンプルも脱炭目標品質をクリアしていることがわかる。

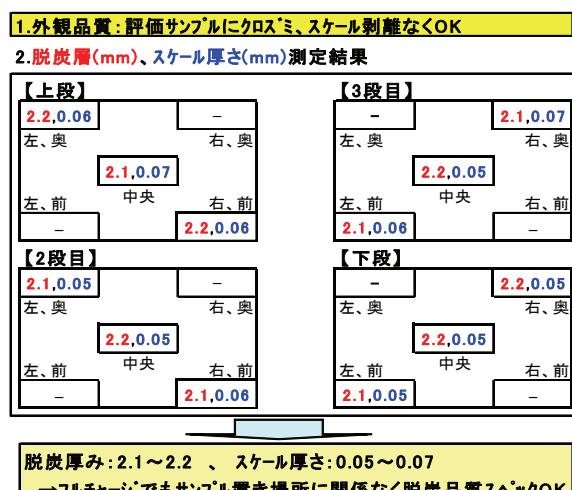


図 3-5 脱炭品質測定結果

(2)－2 実験計画法による脱炭条件の絞り込み

①実験計画法とは

実験計画法を活用することにより、新規部品の立ち上げ時の熱処理条件最適化のための試行錯誤を短時間に行なうことが可能となる。

「最適な熱処理条件を求めるため、条件 a, b, c, d を変化させて実験し、最も良い組み合わせを見つける。条件を、 a は 4 通り、 b, c, d はそれぞれ 3 通りとするとき、少ない実験回数でその組み合わせを見つけるには、どうしたら良いだろうか？」この場合、組み合わせは 108 通りもあるので、とても全部を実験することはできない。しかし実験回数を減らして実験する組み合わせが偏ってしまったなら、良い組み合わせを見逃してしまうかもしれない。そこで、良い組み合わせを見逃さないように、網をはった「実験の組み合わせ」を考える「実験計画法」を適用する。

つまり、「 a, b が各々 5 通りのとき、5 回の実験で最適の組み合わせがどこにあるか予想するためには、どのような組み合わせで実験する？」という課題を以下のように考える。

a, b は各々 5 通りなので、組み合わせは図 3-6 のように全部で 25 通りある。これに網をはろうとするなら、図中の(1)の青い部分のような組み合わせになる。これは「良い組み合わせ」というのは、突然そこだけ良い結果となるのではなく、そのまわりも良い傾向を示す」という考えに基づいている。たとえば a_2, b_4 が最適だった場合、実験したポイント : a_3, b_3 と a_1, b_5 に良い傾向が見られ、どこに最適値があるのか推測することができる。(2)の組み合せでは、 a_2, b_5 に最適値があったとしたらその影響は最適値が a_5, b_2 にあるときと変わらない。

	a1	a2	a3	a4	a5
b1					
b2					
b3					
b4					
b5					

	a1	a2	a3	a4	a5
b1		■			
b2					
b3			■		
b4					
b5	■				■

	a1	a2	a3	a4	a5
b1		■			
b2			■		?
b3				■	
b4					■
b5		○			

	a1	a2	a3	a4	a5
b1	5	4	5	6	7
b2	4	3	4	5	6
b3	3	2	3	4	5
b4	2	1	2	3	4
b5	1	0	1	2	3

図 3-6 組み合わせ事例

実験ポイントと最適値のある組み合わせまでの距離を求める方法として、 a_i, b_j と a_m, b_n の距離は、 $|i-m| + |j-n|$ とする方法がある。上図の(3)は a_2, b_5 と各ポイントの距離を示したものである。もし(2)で a_1, b_5 が最適だったとすると、実験ポイントの距離は全て 4 になってしまい、傾向がつかめなくなってしまう。

そこで、どの列を取っても同じ組合せが同じ数だけある表“直交表”を用いて、もっとも効率のよい(実験回数がもっとも少なくなるように)実験を計画する。

図 3-7 の直交表を L8 という。L は直交表を表わす記号であり、直交表がラテン方格(Latin square)を発展させたものであることから、この記号 L を使ったとのことである。8 は行数、すなわち実験回数を示す。A,B,C,D を取り上げた実験を考える。因子の間の交互作用は存在しないものとする。もし 4 元配置で実験をすれば、すべての水準組合せは $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ であるから 16 回の実験をすることに

なる。これに対して、直交表 L8 を用いて次のような 8 回の実験をすることにする。

上段:列番 下段:No.	1	2	3	4	5	6	7	水準組合せ
1	1	1	1	1	1	1	1	→ A1B1C1D1
2	1	1	1	2	2	2	2	→ A1B1C1D2
3	1	2	2	1	1	2	2	→ A1B2C2D2
4	1	2	2	2	2	1	1	→ A1B2C2D1
5	2	1	2	1	2	1	2	→ A2B1C2D2
6	2	1	2	2	1	2	1	→ A2B1C2D1
7	2	2	1	1	2	2	1	→ A2B2C1D1
8	2	2	1	2	1	1	2	→ A1B2C1D2

図 3-7 直交表 L8

L8 には列が 7 本あるが、この 7 本の列の任意の 4 本の列に A,B,C,D を対応させる。いま、1 列に A、2 列に B、3 列に C、7 列に D を対応させたとする。

直交表の本体中の数字 1, 2 を、その列に対応させられている因子の水準とみなすと、これから 8 つの水準組合せが決まる。いまの例では、実験 No.1 は A1B1C1D1、実験 No.2 は A1B1C1D2 …、実験 No.8 は A2B2C1D2 である。8 つの水準組合せについて実験をする。この 8 つの実験をランダムな順序で行う。

②実験計画法による脱炭条件の絞り込み

脱炭基礎テストにより脱炭品質目標をクリアできる条件が選定できたが、さらに良い条件を求めるべく実験計画法による脱炭テストを実施した。

テストは直行表 L8(4 要因×2 水準)に従い実施した。テスト要因は A : 各ステップ時間、B : CO/(CO+CO₂)比率、C : 雾囲気ガス供給量、D : 脱炭雾囲気ガス除湿装置仕様の有無である。

テスト順序、要因と水準の割り付け表、テスト結果を図 3-8 に示す。

順序	A	B	A*B	C	A*C	D	脱炭厚さ	スケール厚さ
2	1	1	1	1	1	1	2.0	0.06
7	1	1	1	2	2	2	2.1	0.07
6	1	2	2	1	1	2	2.0	0.07
1	1	2	2	2	2	1	2.3	0.08
5	2	1	2	1	2	2	1.9(NG)	0.05
8	2	1	2	2	1	1	2.0	0.08
3	2	2	1	1	2	1	2.0	0.06
4	2	2	1	2	1	2	2.2	0.08

図 3-8 テスト順序、要因・水準割り付け、テスト結果

ワーク荷姿はフルチャージである。また脱炭厚、スケール厚の評価法は基礎テストと同一である。

本テスト結果のデータにより、次項に述べる解析を行い脱炭条件の絞り込みを行なった。その結果、絞り込み条件は、図中のテスト順序 No.6 の条件と一致した。

③実験計画法によるテスト結果の評価

本研究における熱処理では、脱炭層厚さを 2mm 以上、スケール厚さ 0.1mm 以下という 2 つのゴールを同時に満足させなければならない。実験後に SN 比等、どの水準がよいか判定するための評価指標を用意する必要がある。

例えば、1ステップ制御で、脱炭厚さ 2.0mm、スケール厚さ 0.06mm のテスト結果を得た。

また図 3-9 の 3ステップ制御を行った結果、脱炭厚さ 2.1mm、スケール厚さ 0.07mm という結果を得た。先のものとどちらが良いか評価しなければならない。

そこで、以下のような評価指数を考えた。

$$\text{評価係数} = \Sigma \text{ABS}((\text{目標値} - \text{実測値}) / \text{目標値})^{1/2}$$

この評価係数の計算例を下図右に示す。最右列の評価指数が高い方がよい。

目標				評価
>=2.0mm	<=0.1mm	O無し	O無し	
脱炭層厚さ (mm)	スケール厚さ (mm)	スケール剥離 (3:x,2:△,1:○)	表面クロズミ (3:x,2:△,1:○)	
2.2	0.10	3	3	×
2.1	0.08	3	2	×
2.0	0.07	2	1	×
2.0	0.06	1	1	○
1.9	0.05	1	1	×
1.8	0.04	1	1	×
2.1	0.07	1	1	○

脱炭層厚さ (mm)	スケール厚さ (mm)	評価指數
2.50	0.05	121
2.40	0.06	108
2.30	0.07	94
2.20	0.08	76
2.10	0.09	54
2.00	0.10	0
2.10	0.05	93
2.20	0.06	95
2.30	0.07	94
2.40	0.08	89
2.50	0.09	82
2.00	0.08	45
2.05	0.09	47
2.01	0.10	29
2.00	0.06	63
2.10	0.07	77

図 3-9 評価指數

さらに、3ステップ制御において、4つの要因に2水準を用意し、実験計画法を適用し、実験した結果が図 3-10 である。A1B2C2D1 の組み合わせが一番良い結果となった。

行	列1	列2	列3	列4	列5	列6	列7	水準組合せ	実験結果		
									脱炭層厚さ (mm)	スケール厚さ (mm)	評価指數
1	1	1	1	1	1	1	1	A1B1C1D1	2.0	0.06	63
2	1	1	1	2	2	2	2	A1B1C2D2	2.1	0.07	77
3	1	2	2	1	1	2	2	A1B2C1D2	2.0	0.07	55
4	1	2	2	2	2	1	1	A1B2C2D1	2.3	0.08	83
5	2	1	2	1	2	1	2	A2B1C2D2	1.9(NG)	0.05	30
6	2	1	2	2	1	2	1	A2B1C2D1	2.0	0.08	45
7	2	2	1	1	2	2	1	A2B2C1D1	2.0	0.06	63
8	2	2	1	2	1	1	2	A2B2C2D2	2.2	0.08	76
	A	B	AxB	C	AxC		D				

図 3-10 実験計画法による脱炭条件の絞り込み

(2)-3 データマイニングによる条件最適化

(2)-3-1 データマイニング

データマイニングは、操業時のデータ分析から量産時の品質安定化を実現する手法である。

Xbar-R 管理図は、計量値(重さ、長さ、電圧、電流など量として測定できるモノ)の平均値(xbar・エックスバー)と範囲(R・アール)が「偶然要因」によるばらつきの範囲内に入っているかどうかを確認するための管理図で、工程内異常値を知るためによく使われている。しかし、図 3-11 のように、ひとつのプロセス(工程)だけを見ても不十分で、工程がつながっていることを鑑み、製品 1 個ずつ、その製品の生まれの履歴をすべて把握し、プロセス連鎖の中での「ゆらぎ」が一定の管理限界の中に入るよう管理していくなければならない。

トレーサビリティ・システムによって製造部門で起こっている事実を網羅的に計測し、事実に基

づき改善を進めることができるようになる。図 3-12 は工場でデータを自動連続計測した(抜き取りではない)例であるが、管理幅をはずれたものが散在することがわかる。

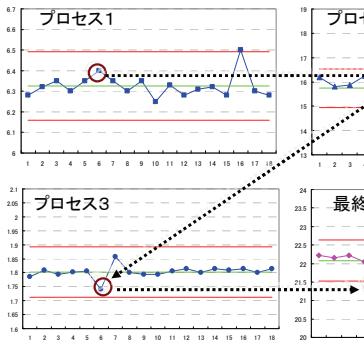


図 3-11 Xbar-R 管理図(プロセスの連鎖と最終品質)

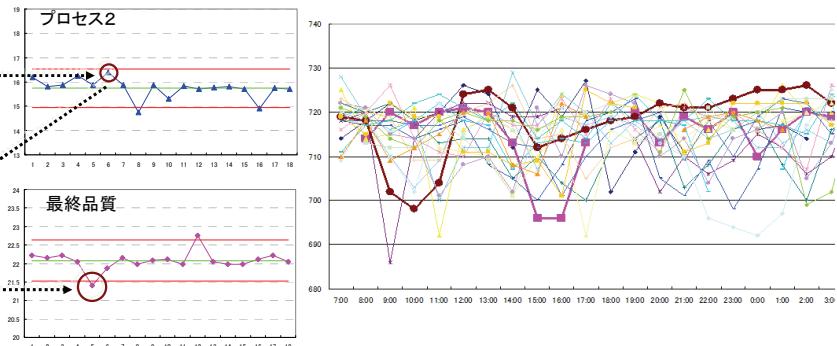


図 3-12 全データの計測・見える化

シックスシグマ活動、SPC(Statistical Process Control)という手法は、「統計的プロセス管理」と訳され、各製造工程のチェックポイントで収集された膨大なデータを基に統計的手法を用いた処理を行う。製造条件や各工程における製品の品質などの推移(傾向)を監視、製造工程を安定な状態に維持管理するデータ・マネジメント・システムである。ここでは、SPC を BPM(ビジネス・プロセス・マネジメント)の中に組み込むデータ・マネジメント手法を適用した。

現場で実測できるものは離散的で一見つながりがないように思われている。それらをまとめて管理できるようにしなければ意味がない。製造現場には必ず「ゆらぎ」があり、その「ゆらぎ」がプロセス間にまたがり連鎖したとき不良品が出現する。ただし、いろいろやみくもに計測しても意味がない。品質やコストに直接的に影響する要因に注目しなければ意味がない。例えば、炉内温度のある範囲と段取り時間の設定とある製品形状との組合せが不良に結びつくことがわかれれば、それらの組合せがないようにこれらの因子を制御すればよい。その場合は、工場内の湿度やマテハンロボットの動作時間をいくら制御しても関係ない。つまり、品質に関わる主要因の抽出することが重要で、それはすなわち、製造プロセスの KPI(Key performance indicator)の抽出である。

①トレーサビリティ・システムの構築

量産時の熱処理要因を網羅的に計測し、蓄積、かつ、製品番号と紐付けることができるトレーサビリティ・システムを構築した。その要因データ(生まれ育ちのデータ)と結果(ゴール)データ(脱炭厚さおよびスケール厚さ)との因果関係を分析する。(図 3-13)

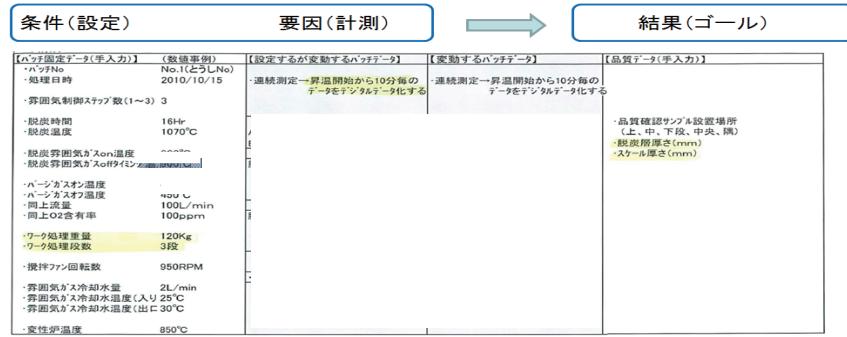


図 3-13 要因データと結果データの因果関係を分析

図 3-14 は開発したトレーサビリティ・システムから得られたデータ例である。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	データ出力			自動分析データ出力										
2														
3	E													
556	2011/10/25 4.04.00:	1070	1000	19.8	39.7	11.5	2.6	0.46	20.6	1.05	95.20665401	3	95	
557	2011/10/25 4.05.00:	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.6	0.46	20.6	1.05	95.29660065	3	95	
558	2011/10/25 4.06.00:	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.6	0.46	20.6	1.05	95.29660065	3	95	
559	2011/10/25 4.07.00:	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.6	0.46	20.6	1.05	95.29660065	3	95	
560	2011/10/25 4.08.00:	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.6	0.46	20.6	1.05	95.29660065	3	95	
561	2011/10/25 4.09.00:	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.1	0.44	20.41	1.03	95.29660065	3	95	
562	2011/10/25 4.10.00:	1070	998.8	19.9	39.7	11.5	2.4	0.53	20.37	1.03	95.29660065	3	95	
563	2011/10/25 4.11.00:	1070	998.7	19.9	39.7	11.5	2.4	0.54	20.42	1.03	95.29660065	3	95	
564	2011/10/25 4.12.00:	1070	998.7	19.9	39.7	11.5	2.3	0.54	20.39	1.05	95.20547845	3	95	
565	2011/10/25 4.13.00:	1070	998.9	19.9	39.7	11.5	2.3	0.54	20.34	1.05	95.20547845	3	95	
566	2011/10/25 4.14.00:	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.3	0.54	20.34	1.05	95.20547845	3	95	
567	2011/10/25 4.15.00:	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.3	0.58	20.22	1.05	95.20328917	3	95	
568	2011/10/25 4.16.00:	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.2	0.56	20.29	1.05	95.19890261	3	95	
569	2011/10/25 4.17.00:	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.3	0.54	20.32	1.05	95.19230769	3	95	
570	2011/10/25 4.18.00:	1070	1000	19.8	39.7	11.5	2.3	0.58	20.32	1.04	95.4062746	3	95	
571	2011/10/25 4.19.00:	1070	999.9	19.9	39.7	11.5	2.1	0.57	20.32	1.03	95.29389278	3	95	
572	2011/10/25 4.20.00:	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.2	0.59	20.24	1.05	95.19670631	3	95	
573	2011/10/25 4.21.00:	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.2	0.61	20.24	1.05	95.19230769	3	95	
574	2011/10/25 4.22.00:	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	2.2	0.61	20.24	1.05	95.19230769	3	95	
575	2011/10/25 4.23.00:	1070	999.8	19.9	39.7	11.5	1.8	0.61	20.28	1.03	95.27350004	3	95	
576	2011/10/25 4.24.00:	1070	999.9	19.9	39.7	11.5	2.2	0.61	20.13	1.05	95.19010536	3	95	
577	2011/10/25 4.25.00:	1070	1000	19.9	39.7	11.5	2.2	0.64	20.2	1.05	95.18790101	3	95	

図 3-14 トレーサビリティデータ事例

(1) データ分析

①判別分析

判別分析では、従属変数(例えば品質)を構成するカテゴリー(例えば良品、不良品)を判別するため「群分け」を行う。群分けとは 独立変数(例えば種々の鋳造条件)を利用して、複数あるカテゴリーを 2 分する 1 本の直線を導き出すことである。この直線を表す関数を「判別関数」と呼ぶ。カテゴリーが 2 つの場合には 1 本の直線を、カテゴリーが 3 つある場合には 2 本の直線を引く。例えば、別々のプロセスで計測された温度、作業性、形状複雑性のランクのどのような組み合わせで不良が発生するかが特定できれば、それらの組み合わせが起こらないように製造することで不良を避けることができる。不良と良品を区別できる製造要因 (KPI) の組み合せを判別分析で抽出する。この分析に判別分析を用いる。

実際のデータで分析した例を図 3-15 に示す。判別値だけで完全に不良の有無を説明できるわけではないが、不良確率でみると判別値との相関が高いことがわかる。つまり、判別値 10.0 以下では不良確率 36.7%、判別値 1.0 以下では不良確率 18.3%、判別値 3.7 以下では不良確率 3.3%となり、判別値が大きくなると不良が多くなることを示している。つまり、この判別値を KPI に設定して、KPI が小さくなるようなプロセス管理を行えばよい。この KPI を小さくするためには、管理可能な製造条件の提示が必要である。それを導くには、決定木分析が有効である。



図 3-15 品質にばらつきがあるデータにおける判別分析

② 決定木分析

樹木モデル(tree-based model)は、非線形回帰分析、判別分析のひとつの方で、分類の問題では分類木(classification tree)あるいは決定木(decision tree)と呼ばれている。樹木モデルは、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。フリーソフト WEKA には、グラフィカル・ユーザインターフェースもあるので便利である。その他、一般にデータマイニングと呼ばれるツールで決定木分析が可能である。

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）製造条件の組み合わせを探すことができる。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。トレーサビリティ・システムから得られるテーブルが決定木分析の入力テーブルとなる。得られる決定木は図 3-16 のようになる。

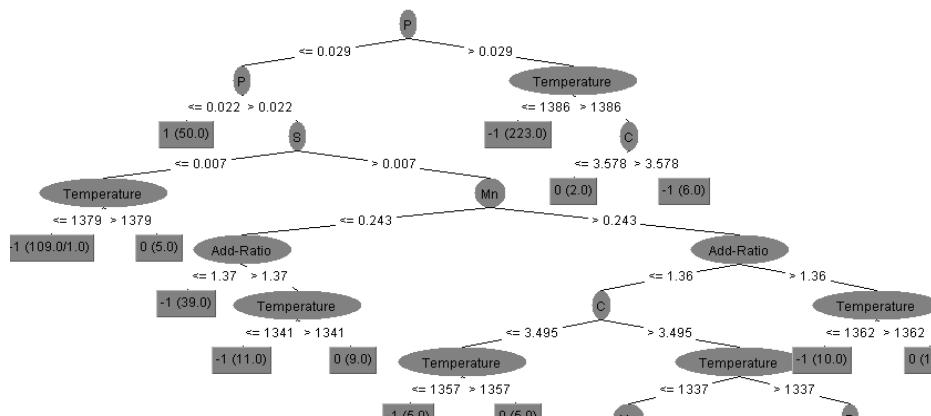


図 3-16 得られた決定木 (WEKA による表示)

この決定木分析を行うときに、

- (i) 計測された要因データを入力テーブルに使い、ゴールとして品質（評価指数）を推計する方法
- (ii) 設定された条件（および一部要因データを含める）を入力テーブルに用い、ゴールとしては複数を製造した結果としての SN 比（評価指数のばらつきから計算）を推計する方法の 2 種類が考えられる。

また、図 3-17 のような連続データとなる要因データとして、離散的にどのデータを参照してデータマイニングを行うと良い結果が得られるかについては今後の課題である。

以上のデータマイニング手法により、量産時のばらつき(ゆらぎ)の分析から安定した品質が得られる熱処理条件の最適化が期待できる。

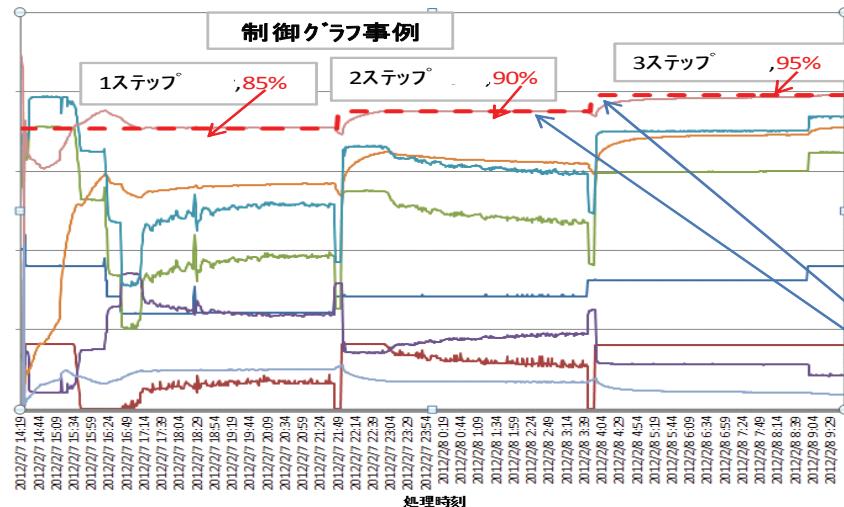


図 3-17 連続した要因データ

(2)-3-2 データマイニングによる条件最適化と検証テスト

実験計画法により絞り込んだ脱炭条件をベースにし、開発したデータマイニングを試行し条件最適化を行なった。最適化した熱処理条件の妥当性を検証するため、号口部品を処理し、従来条件での脱炭品質と比較した。最適化条件での現場改善の狙いは「従来条件ではスケール厚さ大のため実施していたスケール剥離部のグラインダ手入れの廃止」である。そのため、対象部品は従来条件ではスケール大のため、100%スケール除去手入れの必要な 2 種の部品(A,B)を選んだ。

テスト結果を図 3-18 に示す。図より脱炭厚は目標値の 2mm 以上でありながら、スケール厚を従来の 1/5 (0.3mm→0.06mm、目標:0.1mm以下) にでき、スケール剥離部のグラインダによる手直し率は、対象に選んだ 2 部品とも従来の 100%を 0 にすることができた。本テストは 3 回繰り返したが、いずれも同様な結果であった。

これにより最適化条件の量産レベルでの妥当性が検証できたと同時に脱炭厚を確保しながら、スケール厚を低減するという本事業の課題が解決できた。

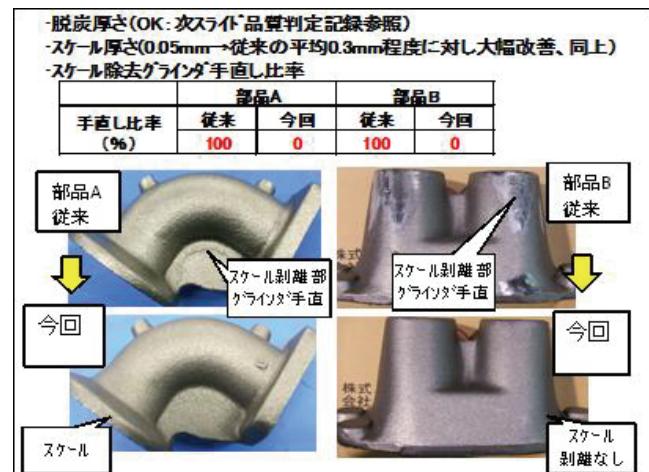


図 3-18 検証テスト結果

2-3-2 最適熱処理品の評価・試作

(1) 研究内容

本サブテーマでは最適熱処理条件で処理した材料の機械的性質(強度、伸び、組織)の調査を行う。

更に本テーマでは、本事業の実用化対象候補部品である鋳鉄ディファレンシャルケースを脱炭処理し、機械加工後に低炭素合金鋼のリングギアとの EBW 試作を実施し、溶接割れの有無、プローホールの有無、スパッタの発生状況等を調査し、溶接性を評価する。

本テーマの技術目標は、以下の通りである。

- ①最適熱処理品の材料評価
- ②スケールレス脱炭熱処理ディファレンシャルケースとリングギア EBW 試作、評価

(2) 研究成果

(2)-1 最適脱炭条件処理品の評価

データマイニングで求めた最適条件で FCD450 素材を脱炭処理し、機械的性質及び組織を調べた。

引張り試験結果は、耐力 : 310N/mm²、引張り強度 : 485N/mm²、伸び : 14%(n=3 の平均値)となり、最適な脱炭条件処理品の引張特性は、処理前の FCD450 材と同等であった。組織の調査結果を図 3-19 に示すが、健全な脱炭組織であり、脱炭による材質劣化はないことが確認できた。

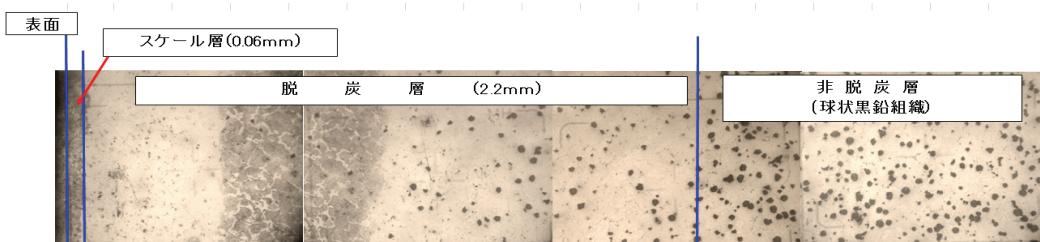


図 3-19 最適脱炭熱処理条件サンプル組織

(2)-2 最適脱炭条件処理品の電子ビーム溶接(EBW)

①テストサンプルによる EBW テスト

デフケースとリングギアの EBW 試作に先立ち、テストサンプルによる EBW テストを実施した。

狙いは EBW 条件の選定と健全な電子ビーム溶接ができるとの確認である。テストサンプル数は 8 セットである。図 3-20 に溶接素材条件を図 3-21 に選定した EBW 条件を示す。



図 3-20 溶接素材条件

- ①開先形状(図-1)
 -はめ込み円周溶接
 (溶接直径:100mm)
 -リンク板厚: 5mm、
 ②溶け込み:3mm狙い
 ③真空度:1.3Pa
 ④ビーム電流:20mA
 ⑤回転速度:8RPM
 ⑥ビームオシレーション:有り

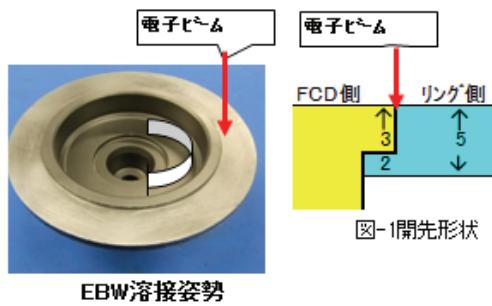


図-1 開先形状

図 3-21 EBW 条件

図 3-22 に EBW 外観品質確認結果を示すが、健全な EBW 外観品質が得られた。

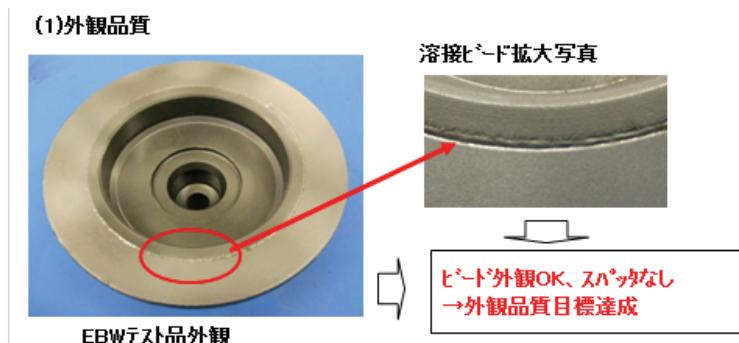


図 3-22 外観品質確認結果

図 3-23 に EBW 内部品質確認結果を示すが、健全な EBW 内部品質が得られた。

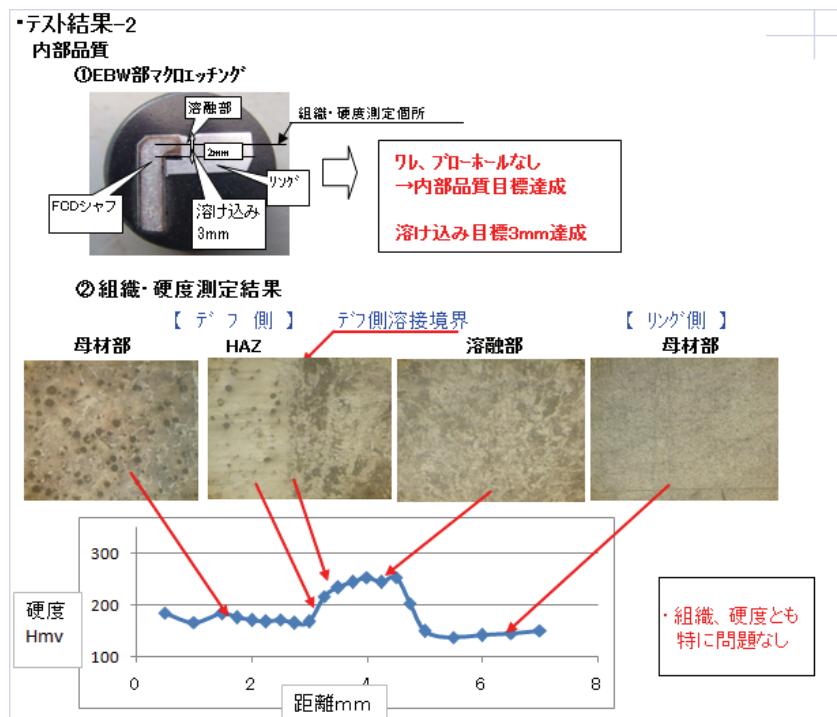
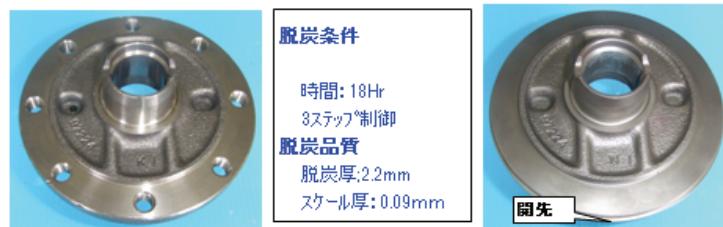


図 3-23 内部品質確認結果

②デフケースとリングギアのEBW試作(1)

本事業の提案書で示したデフケースとリングギアについて、EBW 試作を実施した。図 3-24 に溶接素材条件を、図 3-25 に EBW のテスト状況を示す。

(1)ディファレンシャルギア(FCD材) ①鑄物素材→機械加工(含む開先加工)→スケールレス脱炭(写真-2)



(2)リングギア(低合金浸炭鋼) ①鍛造素材→機械加工(含む開先加工) 写真-3)

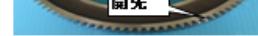


図 3-24 溶接素材の条件

【固定条件】

①開先形状(図-1)

- ・はめ込み円周溶接
(溶接直径: 138mm)
- ・板厚: 鋼鉄側 10mm
- ・リングギヤ側 8mm

②溶け込み, 5mm狙い

③真空度: 1.3Pa

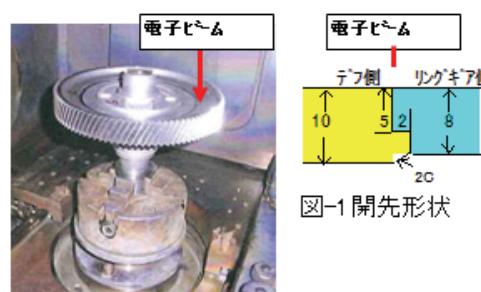


図 3-25 EBW のテスト状況

図 3-26 にテストサンプルによる EBW テストで選定した EBW 条件に準じて決めた EBW 条件を示す。また同図に外観品質確認結果を示すが、健全な EBW 外観品質が得られている。

・EBW条件と溶接外観品質

(1)最適EBW条件

条件No	ワーフNo	加工方法	ビーム電流	溶接速度	オシレーション
10	9	全周板付け	20mA	7 rpm	有、1kHz
		溶接1ルース	60mA	2.3 rpm	↑
		溶接2ルース	15mA	↑	↑

(2)溶接外観品質



図 3-26 試作 EBW 条件、外観品質確認結果

図3-27にEBW内部品質確認結果を示すが、健全なEBW内部品質が得られている。

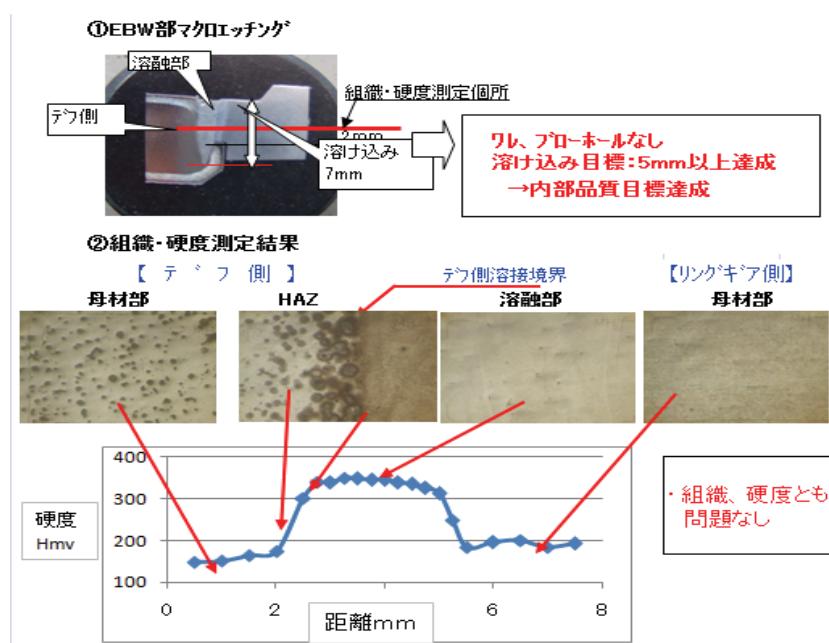


図3-27 EBW内部品質確認結果

②デフケースとリングギアのEBW試作(2)

強度評価の対象にもするデフケースとリングギアサンプルを試作した。図3-28に溶接前素材条件を示す。また図3-29に溶接条件を示す。前項で述べたデフケースとリングギアのEBW試作手順と同様の方法で試作した結果、溶け込み、外観品質、内部品質とも満足する結果が得られた。

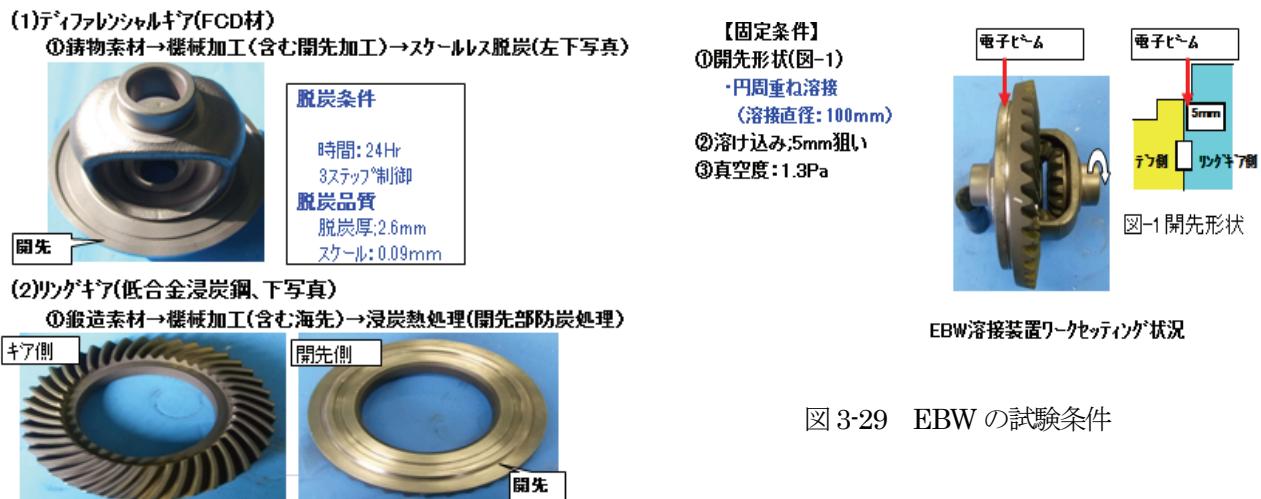


図3-29 EBWの試験条件

図3-28 溶接素材の条件

以上により、本事業の技術目標である「健全な溶接部を有する、スケールレス脱炭デフケースとリ

ングギアの EBW 試作」を達成した。

さらに、事業化に向けて必要となる試作品 EBW 部の強度評価テストを実施した。

③静的強度評価テスト

EBW 試作品を強度評価テスト装置にセットし、出力軸を固定し、入力軸に試作品が破断するまで正転トルクを与えた。結果 EBW 部以外の部分が破損し、EBW 部は亀裂や割れがなく問題なかった。

また同様に逆転のトルク負荷時も EBW 部以外の部分が破損した。図 3-30 に静的強度テスト後の試作品のカラーチェック検査結果を示すが、溶接部に割れ等は見られない。



図 3-30 テスト後の試作サンプル EBW 部カラーチェック結果

以上より、最適熱処理条件によって処理したデフケースとリングギアの EBW 試作品の溶接部は健全で必要な強度を有していることがわかった。

第3章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

3-1-1 開発日程

表3-1に22年度、23年度の実施内容の計画と実績を示すが、計画と実績差は殆どなく、当初計画通り事業を遂行することができた。

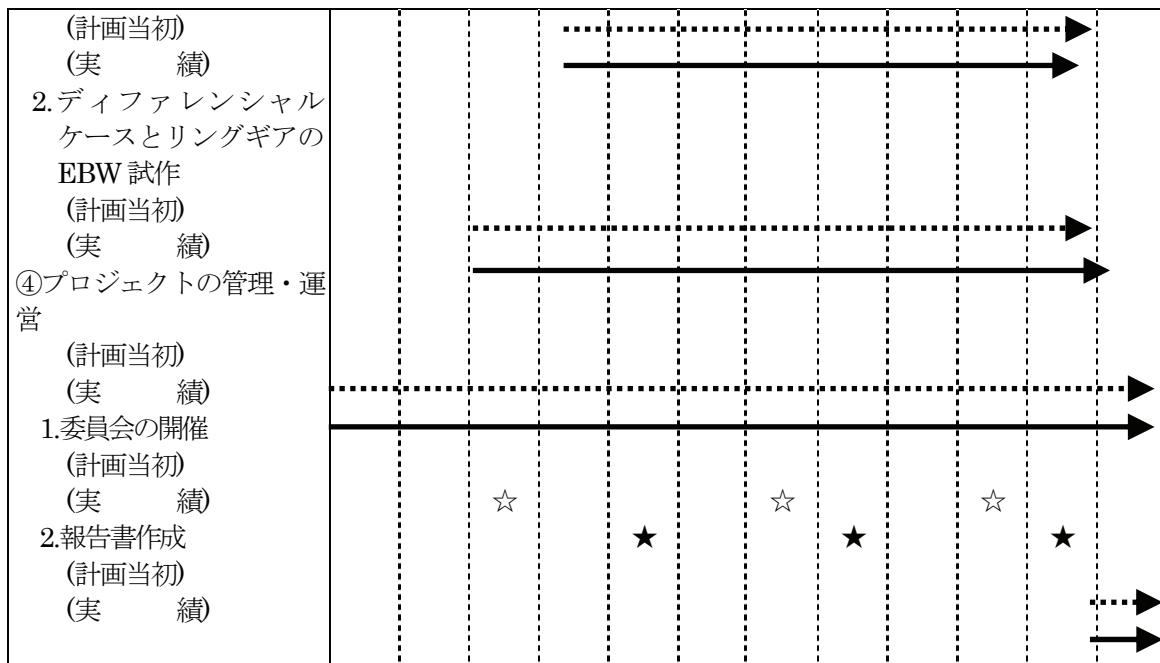
表3-1 実施内容の計画と実績

【22年度】

実施内容	22年 9月	10月	11月	12月	23年 1月	2月	3月
①高密封性、高断熱性熱処理炉の開発							
1.仕様検討 (計画当初) (実績)	→	→					
2.設計、製作、現場導入 (計画当初) (実績)		→	→	→	→	→	
3.性能、特性確認テスト (計画当初) (実績)					→	→	→
②熱処理トレーサビリティシステム開発							
②-1 热処理条件の自動計測システム開発							
1.仕様検討 (計画当初) (実績)	→	→					
2.設計、製作、現場導入 (計画当初) (実績)		→	→	→	→	→	
3.性能、特性確認テスト (計画当初) (実績)					→	→	→
4.レベルアップ計画作成 (計画当初) (実績)						→	→
②-2 自動計測データのデータベース化							
1.仕様検討 (計画当初) (実績)	→	→	→	→	→	→	
④プロジェクトの管理・運営							
(計画当初) (実績)	→	→	→	→	→	→	
1.委員会の開催 (計画当初) (実績)	☆		☆		☆	★	
2.報告書作成 (計画当初) (実績)						→	→

【23年度】

実施内容	23年 4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	24年 12月	1月	2月	3月
①高密封性、高断熱性熱処理炉の開発												
1.現場テストで判明した問題点の解決、炉のレベルアップのための改造												
(計画当初)												
(実績)												
②熱処理トレーサビリティシステム開発												
②-1 热処理条件の自動計測システム開発												
1.性能、特性確認テスト												
(計画当初)												
(実績)												
2.自動計測システム開発												
(計画当初)												
(実績)												
②-2 自動計測データのデータベース化												
1.仕様検討												
(計画当初)												
(実績)												
2.データベースシステムソフト開発												
(計画当初)												
(実績)												
3.データマイニングデータ自動出力ソフト開発												
(計画当初)												
(実績)												
③データマイニングによる熱処理条件最適化と評価・試作												
③-1 热処理データマイニングによる熱処理条件最適化												
1.热処理用データマイニングソフト作製												
(計画当初)												
(実績)												
2.最適熱処理条件選定テスト												
(計画当初)												
(実績)												
③-2 热処理品の評価、試作												
1.热処理品質評価												



3-1-2 目標達成状況

表 3-2 に、本研究開発の各サブテーマの技術目標と実績、達成度を示す。

表より、本研究開発目標は、全て 100% 達成することができた

表 3-2 技術目標に対する研究開発成果の実績

サブテーマ	技術目標	実績	達成度
①高密封性、高断熱性 熱処理炉の開発	(a)密封性： ・ゲージ圧 1.2kPa の内圧が 30 分保持できること (b)断熱性： ・炉外壁温度；室温+10°C以 下(現状：室温+30°C程度) ・保溫時の電力；現状比 30% 減	・保持時間 30 分で 1.2kPa 圧力低下 0 ・炉外壁温度：室温+9.8°C ・脱炭保持時の電力：現状比 31%減	100% 100% 100%
②熱処理トレーサビリ ティシステム開発	・温度、熱処理雰囲気の時間 推移データ収集とサーバー への自動転送	・温度、熱処理雰囲気の時間推 移データ収集とサーバーへの自 動転送可能なシステムを開發 し、正常に機能することを確 認した	100%
②-1 热処理条件の自 動計測システム 開発	・データベースシステム開 発	・データベースシステムを開 発し正常に機能することを確 認した。	100%
②-2 自動計測データ のデータベース 化	・データマイニングデータの 自動出力	・自動出力システムを開發し正 常に機能することを確認した	100%

③データマイニングによる熱処理条件の最適化と評価・試作 ③-1 热処理データマイニングによる熱処理条件の最適化 ③-2 最適熱処理品の評価・試作	<ul style="list-style-type: none"> 下記品質目標値を満足する最適熱処理条件の選定 <ul style="list-style-type: none"> (i)スケール厚み：0.1 mm以下（現状：0.3 mm程度） (ii)脱炭層厚み：2 mm以上 最適熱処理品の材料評価とディファレンシャルケースとリングギアのEBW 試作 	(i)スケール厚み：0.1 mm以下	100%
		(ii)脱炭層厚み：2 mm以上	100%

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

3-2-1 研究開発後の課題

①データマイニングによる熱処理条件最適化に関する課題

本事業で開発した各種ハード、ソフトにより量産レベルでの品質目標がクリアできた。

しかし、現在の対象製品は限られており、処理したロット数も少ないため、今後の対象製品の拡大・処理ロット数の増加に伴い、脱炭条件のバラツキ・ユラギが予測される。

よって、本事業で開発・試行したデータマイニングで脱炭条件と脱炭品質の相関をより明確にし、多品種における脱炭品質向上が今後の研究課題となる。

②スケールレス脱炭鉄 EBW 部品事業化に向けた課題

本事業により、スケールレス脱炭鉄のEBW溶接部は健全であり、十分な静的強度を持つことが確認できた。

しかし事業化に向けて、以下の技術課題を解決する必要がある。

(i)本研究開発メンバー企業が解決すべき生産技術課題として、脱炭熱処理時の製品歪み及びEBW歪みの低減と脱炭された表面部の強度アップである。

(ii)またユーザ企業に解決していただくべき設計技術課題は、大幅に軽量化でき耐久疲労テストがクリアできるデフリングギアをEBWしたアッセンブリ品の設計である。

(i)の生産技術課題への対応はメンバー企業が進めていく、また(ii)に記載するアッセンブリ品の設計に関しては、メンバー企業がユーザ企業との共同開発の中で解決していく所存である。

3-2-2 事業化展開

(1)スケールレス脱炭鉄

①自動車部品の軽量化を狙ったスケールレス脱炭鉄 EBW 部品

本事業で開発したスケールレスデフケースとリングギアのEBWアッセンブリ品が最初の事業化候

補と考えている。本案件については、アッセンブリ品の強度評価テストをしていただいたユーザ企業を含め、現在2社の企業が前向きな姿勢を示している。

相手企業に本事業の成果をPRし、共同開発に結び付ける所存である。

②スケールレスデフとリングギア以外のEBW部品

事業化対象として、スケールレスデフとリングギア以外のEBW部品も当然考えられる。

この場合、事業化の第一歩は技術シーズのPRによるユーザニーズの掘り起こしである。メンバー企業の株式会社浅田可鍛鋳鉄所は、自動車関連企業が集中している愛知県で開催される展示会(メッセ名古屋)に継続的に出展しており、「スケールレス脱炭鋳鉄のEBW化技術」を、従来から出展している密閉中空鋳鉄と並ぶ軽量化新技術とし、継続的に出展やPRする。また同社は国内カーメーカー、関連変速機メーカーの多くとつながりがあるので、メーカーを訪問し技術シーズをPRし、ユーザニーズの掘り起こし活動を実施する。

事業管理法人である財団法人素形材センターも月刊誌「素形材」、セミナー等により、広く成果を普及していく。

③一般部品のコストダウンを狙ったスケールレス脱炭鋳鉄溶接部品

スケールレス脱炭鋳鉄部品はEBW以外のレーザ溶接、MAG等のアーク溶接への適用も可能である。同一技術シーズなので、①項の「スケールレスデフとリングギア以外のEBW部品」で述べたと同様の活動を実施することにより事業化を展開する。

④本事業による売り上げ増

本事業の事業化対象の自動車部品は品質評価に長時間かかると考え、本事業による売上増はおよそ表3-3を見込んでいる。

表3-3 本事業成果による売り上げ見込み

	事業化1年目	事業化2年目
売上額	0.3億円	1.0億円

(2)高度熱処理システム

本事業で開発・検証した要素技術を織り込んだ、シビアな条件制御が可能で、エネルギーコストが低い雰囲気熱処理装置が安価に販売できれば、時代のニーズにマッチしており、汎用的熱処理装置として年1台の売り上げは期待でき、実績を積めば年2台は見込めるのではないかと考えられる。1台当たりの価格は平均35百万円を予定していることから、本事業による売上はおよそ表3-4を見込んでいる。

表3-4 本事業成果による売り上げ見込み

	事業化1年目	事業化2年目	事業化3年目
売上額	0.3億円	0.7億円	0.7億円