

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「低温プラズマ窒素イオン注入法による低摩擦
高耐摩耗駆動系部材表面の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター

目 次

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・・・・・・・・・・	2
1－2	研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)・・・・・・	13
1－3	成果概要・・・・・・・・・・	16
1－4	当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・	22

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 研究開発の背景

近年の世界的環境負荷低減施策に伴い、輸送機械や建設機械、産業機械、一般機械などの高効率化・省エネルギー化・CO₂削減は避けて通ることのできない課題となっている。主要産業の世界市場規模の概略を図1に示す。他産業分野と比較して、製造技術分野はその市場規模が突出しており、当該分野を牽引しているのは自動車を主軸とした輸送機械や建設機械、産業機械、一般機械であることがわかる。ところで自動車の場合、使用する燃料の約2/3は摩擦や熱として損失している。仮に摩擦や熱の損失を抑えることで、世界中で稼働している約5億台の自動車の燃料消費を5%低減できた場合、その省エネルギー量は日本全世帯の電気量の約半年分に相当する。したがって、高効率化・省エネルギー化・CO₂削減に対する各種機械用駆動系部材表面の摩擦摩耗特性向上、すなわち表面の高機能化の寄与は極めて大きい。加えて、当該分野の市場規模より、駆動系部材表面の高機能化による潜在的経済効果は計り知れない。そのため、表面の高機能化を達成する技術として、駆動系部材のための浸炭・窒化・高周波熱処理は欠くことのできない技術となっている。

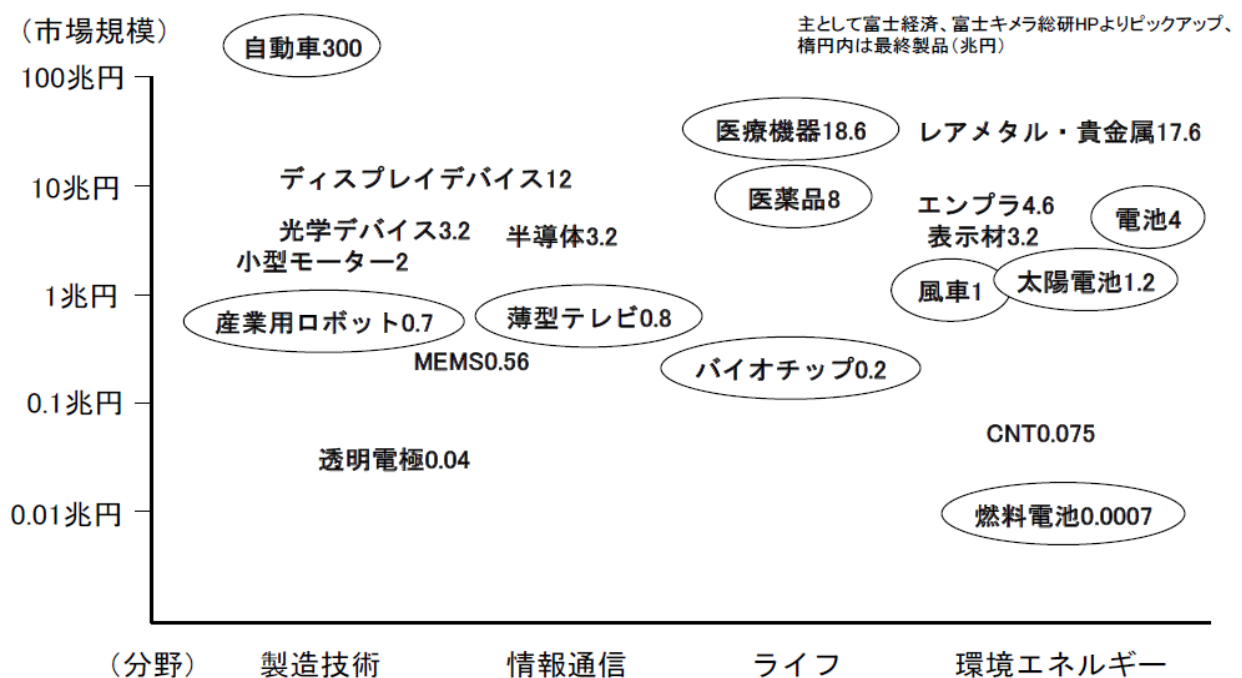


図1 主要産業の世界市場規模の概略

ところで、現在のガス雰囲気および塩浴浸炭・窒化処理は、炉壁からの放熱、可燃性ガスの危険性などの面から、機械加工ラインとは別の隔離されたエリアか別棟で行われることが一般的である。しかし、前述の世界的環境負荷低減施策に伴い、生産現場においても、各工程を同期化させた同期生産化やクリーンファクトリー化が急速に進められている。特に、前後工程との連携に資する技術開発(高度化指針の熱処理に係る技術に関する事項：2. 熱処理技術における高度化目標の達成に資する特定研究開発等の実施方法を参照)として、インライン化技術は大変重要な位置付けにある。最近では、日産などにより、真空熱処理技術の適用を中心とした浸炭熱処理の機械加工ラインへのインライン化が進められている。また、本事業の中小企業者であるパーカー熱処理工業株式会社は、1995 年よりフランスの ECM 社と技術提携して、連続低圧浸炭焼入装置(Installation de Comantation Bass Pression; ICBP, 図 2)をいち早く日本に導入した。ICBP の加熱セル数の変遷を図 3 に示す。パーカー熱処理工業では、機械加工と低圧浸炭焼入処理のインライン化をすでに実現しており、十分な販売実績を上げていることがわかる。一方、真空熱処理技術は、機械加工ラインへのインライン化だけでなく、熱処理時間短縮による生産性の向上、熱処理炉の省エネルギー化などの利点も多く、クリーンファクトリー化に多大に貢献する次世代熱処理技術として期待が高い。

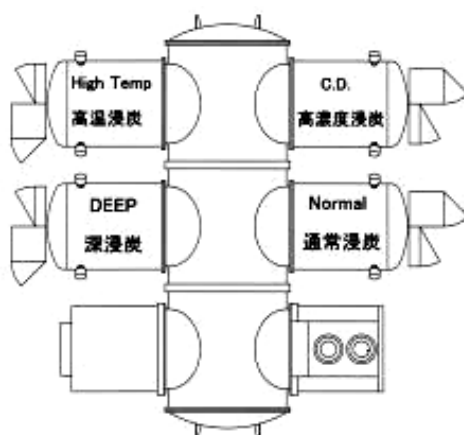


図 2(a) 連続低圧浸炭焼入装置(ICBP)の概略(平面図)

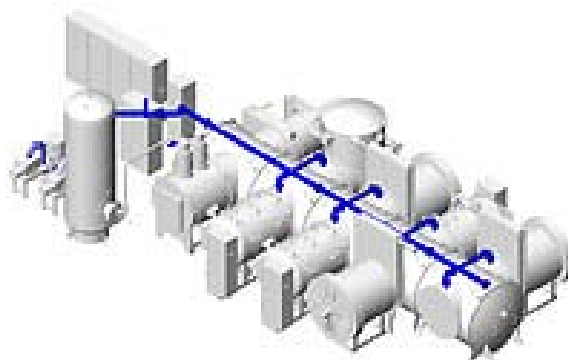


図 2(a) 連続低圧浸炭焼入装置(ICBP)の概略(鳥瞰図)

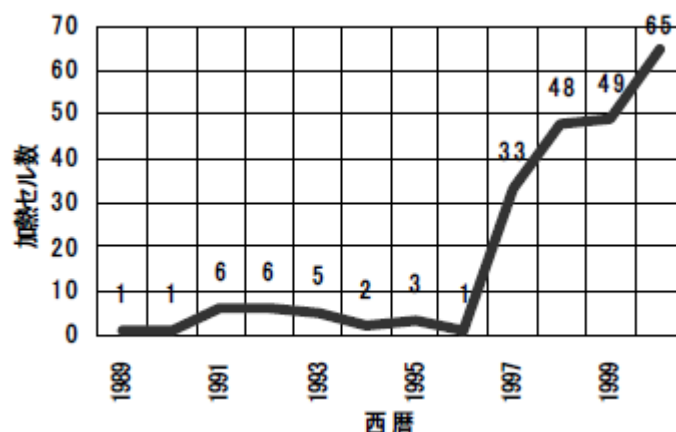


図3 ICBP の加熱セル数の遍歴

高効率化・省エネルギー化・CO₂削減や技術技能継承，人材育成，技能デジタル化，標準化，製品の多様化などの社会的背景や，生産性向上，コスト低減，新部品対応，海外拠点化などの川上・川下製造業者が思慮すべき経済的背景を鑑みると，「高度化・高付加価値化」を促す加工技術の開発，「IT 化」をキーワードとした技術の向上，「環境配慮」を念頭に置いた開発，の以上3点が熱処理技術開発の方向性として求められる．特に，機械要素部材間の更なる低フリクション化・高強度化・高耐久性を達成するためには，各種熱処理の連続化など，熱処理の複合化に資する技術(複合熱処理加工技術)が担う責務は非常に大きい．現在の表面熱処理・表面改質技術を支えるのは浸炭・窒化・高周波処理であり，その日本における市場規模は数千億円である．十数年前より Physical Vapor Deposition (PVD)，Chemical Vapor Deposition (CVD)などの表面被膜処理が様々な機械要素部材表面に適用されているが，その市場規模は約300億円弱(2002年度時点)であり，現時点では浸炭・窒化・高周波処理に変わって台頭するほどのものではない．一方，浸炭と窒化の複合熱処理加工技術は，以前よりその必要性は叫ばれていたにもかかわらず，インライン化が遅々として進んでいないのが現状である．この大きな理由として，従来の浸炭および窒化の処理温度が異なる点があげられる．

ガス浸炭・塩浴浸炭処理は，処理材を～1050℃程度のオーステナイト領域まで加熱した状態で浸炭処理を行い，その後焼入れ焼戻しを行う，浸炭焼入れが一般的である．適切な温度にて焼戻しを行い，用途に応じた性能(硬さ，強度，耐摩耗性など)を持つ処理材に仕上げる．一方，ガス窒化・塩浴窒化処理は，処理材を～500℃程度まで加熱した状態で窒化処理を行う．ゆえに浸炭と窒化を連続して行う場合，窒化処理が高温焼戻しと同様の効果を与える結果，処理材の性能が著しく低下する(焼戻し抵

抗の低下)問題点がある。よって、浸炭と窒化の複合熱処理加工技術において、窒化処理に求められる最も重要な技術は、浸炭により得られた性能を損なうことなく窒化を行うこと、すなわち【低温かつ熱拡散処理が不要であること】である。

以上のような背景を鑑みて、自動車に関する、および建設機械、工作機械に関する川下製造業者等の抱える課題及び要請(ニーズ)について、背景・研究開発動向を要約する。

(1) 自動車に関する事項

近年、世界のエネルギー需要は非 OECD 国の伸張がめざましく、有限である石油資源の需給は厳しくなると予測される。また、二酸化炭素の削減は地球的テーマであり、先進国の削減目標は大きい。日本では改正省エネ法に基づき、2015 年までに自動車の燃費を 23.5%改善することが義務付けられている。そのため、自動車メーカーではエンジン車の性能向上に加えて、ハイブリッド車や電気自動車の開発が進められている。中でも動力伝達機構の低フリクション化は、自動車の高性能性を損なうことなく省エネルギー化を図ることができるため、率先して取り組むべき重要な課題である。

(2) 建設機械、工作機械に関する事項

建設機械において、石油資源の需給、二酸化炭素の削減などの省エネルギー、環境問題に対するニーズは、自動車と同様に動力機関、動力伝達機構を持つことにおいて全く同じである。また、建設機械は山岳部などメンテナンスのインフラ環境が悪い場所で使用することが多いため、駆動系においても性能の信頼性・安全性は大変重要である。建設機械の駆動系部材は、疲労強度、面疲労、耐摩耗性を確保するために、部材表面に対して浸炭処理を施すのが一般的である。浸炭処理部材に対して、さらに化成処理などの複合処理を施して耐摩耗性を向上させているものも多い。これら部材の表面は、低フリクション化の観点からさらなる特性向上が求められている。前項でも述べた通り、部材表面の低フリクション化は、省エネルギー化、二酸化炭素の削減などの環境負荷低減に繋がることから、大きなニーズとなっている。

② 研究目的

経済産業大臣が指定する「特定ものづくり基盤技術」、およびその高度化のために、川下産業の最先端ニーズを反映して行われるべき研究開発等の内容、人材育成・知的資産活用の在り方、取引慣行の改善等に関する将来ビジョンたる指針である「特定ものづくり基盤技術高度化指針」の一部を抜粋する。

(十六) 熱処理に係わる技術に関する事項

1 熱処理に係わる技術において達成すべき高度化目標

(1) 自動車に関する事項

①川下製造業者等の抱える課題及びニーズ

各国において自動車に対する燃費規制，排気ガス規制等の環境規制が遂次強化されており，自動車産業では，環境対応が企業の競争力を大きく左右する状況となっている．このため，自動車の軽量化，エンジンの効率向上，燃料電池のコスト削減，ハイブリッドシステムの効率向上，バッテリー，モーターその他電子部品の効率向上等が必要となる．さらに自動車のリサイクル性等への配慮も重要となっている．

また，原油・原材料の大幅な価格変動や昨今の経済情勢を受け，日欧米の自動車市場は縮小傾向にある中，ますます市場のグローバル化が進み，B R I C s 市場での低コスト車の出現等，国際的な価格競争は激しさを増している．そのため，魅力ある新商品をスピーディに開発し，市場に魅力的な価格で投入することが鍵となっている．このため，自動車に関し，以下の課題が具体化してきている

- ア．軽量化
- イ．高強度化
- ウ．静音化
- エ．短納期化
- オ．低コスト化
- カ．環境配慮
- キ．低フリクション化

②高度化目標

自動車を構成する部材のうち，エンジン部品，車体部品，懸架・制動部品，駆動部品等の強度や耐久性を向上するために熱処理技術が用いられている．①を踏まえた熱処理技術の高度化目標は，以下のとおりである．

- ア．歪み予測，歪み抑制技術，歪みばらつき抑制技術の向上
- イ．工程短縮や高機能化を可能とする高度熱処理技術の開発
- ウ．不良現象抑制のための前後工程との連携技術の開発
- エ．新材料に対応した熱処理技術の向上
- オ．リサイクル性の高い材料の用途拡大を可能とする熱処理技術の向上
- カ．熱処理時間の短縮及び省エネルギーに資する技術の開発
- キ．管理・検査技術の向上
- ク．熱処理関連装置技術の向上
- ケ．I Tを活用した生産技術の向上

（２）建設機械，工作機械に関する事項

①川下製造業者等の抱える課題及びニーズ

動作時に大きな負荷の掛かる建設機械及び工作機械において，部品の強度や耐久性は非常に重要な要素である．また，近年では省エネルギー，環境性能向上が求められるとともに，静音化も重要な課題となっている．

特に工作機械においては，回転速度の高速化により，高速動作時の負荷に対応した新素材による治具等の開発及び生産性効率向上のための多軸化等が必要になっている．さらに，顧客ニーズに対応するために，短納期開発・生産等が必要となっている．このため，建設機械，工作機械に関し，以下の課題が具体化してきている．

- ア．高強度化
- イ．高耐久性
- ウ．高精密化
- エ．小型・高圧化
- オ．静音化
- カ．ハイブリッド化
- キ．短納期化
- ク．低コスト化
- ケ．環境配慮
- コ．多軸化
- サ．低フリクション化

②高度化目標

建設機械や工作機械を構成する部材のうち，エンジン部品，モーター部品，駆動部品，機能部品，土台部品等の強度や耐久性を向上させるために熱処理技術が用いられている．①を踏まえた熱処理技術の高度化目標は，以下のとおりである．

- ア．歪み予測，歪み抑制技術，歪みばらつき抑制技術の向上
- イ．工程短縮や高機能化を可能とする高度熱処理技術の開発
- ウ．不良現象抑制のための前後工程との連携技術の開発
- エ．新材料に対応した熱処理技術の向上
- オ．リサイクル性の高い材料の用途拡大を可能とする熱処理技術の向上
- カ．熱処理時間の短縮及び省エネルギーに資する技術の開発
- キ．管理・検査技術の向上
- ク．熱処理関連装置技術の向上
- ケ．ＩＴを活用した生産技術の向上

前述の通り，本研究開発にて把握している自動車，および建設機械，工作機械に関する課題および要請(ニーズ)は，「特定ものづくり基盤技術高度化指針」と方向性が一致していることがわかる．特に，機械要素部材間の更なる低フリクション化・高強度化・高耐久性を達成するためには，「特定ものづくり基盤技術高度化指針」のうち，以下の項目に密接に対応していると考えられる．

(十六) 熱処理に係わる技術に関する事項

1 熱処理に係わる技術において達成すべき高度化目標

(1) 自動車に関する事項

川下製造業者の抱える課題及びニーズ

カ．環境配慮

キ．低フリクション化

・上記を踏まえた高度化目標

イ．工程短縮や高機能化を可能とする高度熱処理技術の開発

カ．熱処理時間の短縮及び省エネルギーに資する技術の開発

(2) 建設機械、工作機械に関する事項

川下製造業者等の抱える課題及びニーズ

ケ．環境配慮

サ．低フリクション化

・上記を踏まえた高度化目標

イ．工程短縮や高機能化を可能とする高度熱処理技術の開発

カ．熱処理時間の短縮及び省エネルギーに資する技術の開発

機械要素部材間の更なる低フリクション化・高強度化・高耐久性を達成するための一つの手段として，現行品の性能を損なうことなく，付加価値の高い特性を付与することが考えられる．本研究開発では，浸炭と窒化の複合熱処理加工をブレークスルー技術とすべく，研究を行う．浸炭と窒化の複合熱処理加工技術において，窒化処理に求められる最も重要な技術は，浸炭により得られた性能を損なうことなく窒化を行うこと，すなわち【低温かつ熱拡散処理が不要であること】である．

以上を踏まえて，本研究開発において達成すべき代表的項目を以下の通りに設定する．

① 低フリクション化

システムの性能や寿命の向上に寄与する，大変重要な目標である．加えて，高効率

化・省エネルギー化，CO₂ 削減など，環境負荷に対する二次的効果も非常に大きい。

② 耐摩耗性の向上

低フリクション化と並び，システムの性能や寿命の向上に寄与する，大変重要な目標である．一般的見地として，低フリクション化の達成が耐摩耗性の向上につながることも多く，本提案のターゲットである自動車，建設機械などの動力伝達部品も例外ではない．加えて，低フリクション化と同様，高効率化・省エネルギー化，CO₂ 削減など，環境負荷に対する二次的効果も大きい。

③ 環境負荷の低減

省エネルギー化，低エミッション化(炉壁からの放熱の低減など)，環境負荷物質の少ない排出ガスなど，環境負荷低減技術が必要である．

④ 量産処理

実用化における量産処理は，達成すべき大変重要な目標である．表面熱処理の機械加工ラインへのインライン化は，量産処理を達成する有効な手段の一つであり，クリーンファクトリー化，工程や熱処理時間の短縮，生産コスト低減など，一次的効果は非常に大きい．加えて，省エネルギー化，作業環境の安全性向上など，二次的効果も非常に大きい。

これらの目標を達成する手段として，本研究開発では高周波 - 高電圧パルス重畳型プラズマイオン注入成膜法(Plasma Based Ion Implantation and Deposition; PBII&D)による低温プラズマ窒素イオン注入の適用を検討する．PBII&D 法の概略を図 4 に示す．

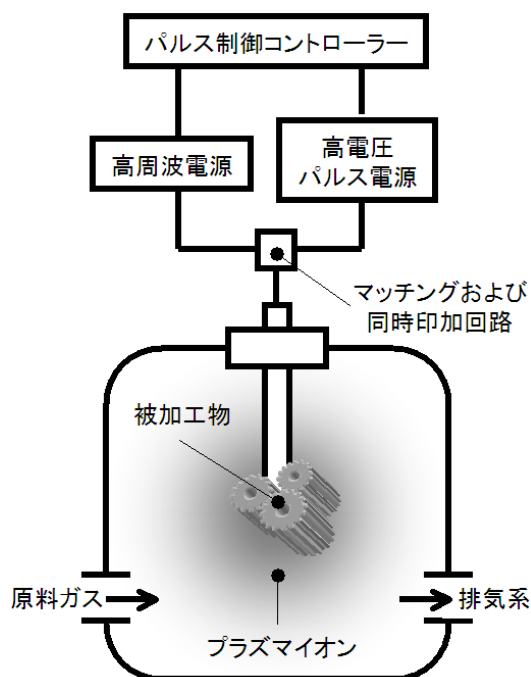


図 4 PBII&D 法の概略

PBII&D 法の特徴は以下の通りである。

① 工程の短縮

処理部材表面に直接窒素イオンを打ち込むことができるため、処理部材の前処理などが不要である。

② 環境負荷が小さい

真空熱処理技術であるため、従来の熱処理手法と比べて省エネルギー、低エミッション効果が非常に高い。加えて、排出ガスは窒素のみであるため、環境負荷物質の排出がない。

③ 150℃以下の低温処理が可能

150℃以下の低温処理が可能であるため、処理部材の焼き戻し抵抗の低下が起こらない。

④ 複雑形状品の均一処理が可能

まず処理部材をプラズマアンテナとして処理材周囲に窒素プラズマを発生させ、次に処理材に高パルス電圧を付与することにより、処理材表面に窒素プラズマイオンを注入するため、処理部材の形状に左右されない。加えて、材料組成などの影響を受けない。

以上を踏まえて、本研究開発では以下の研究項目について実施する。

① 浸炭処理部材への低温プラズマ窒素イオン注入法の適用

本研究開発では 2 台の PBII&D 装置を用いて研究開発を行う。地方独立行政法人東京都立産業技術研究センターが現有の装置については、浸炭処理試料への低温プラズマ窒素イオン注入に関する基礎的な知見を得ることを目的とする。一方、本研究開発で新たに購入する PBII&D 装置については、パーカー熱処理工業株式会社に設置し、量産化を前提とした実用製品に対する窒化処理、および ICBP システムへの装置の導入の可能性について検討する。

【1-1】低温プラズマ窒素イオン注入法の基礎実験(実施：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター)

本研究開発に関する予備実験結果より、窒化処理時の各パラメータが窒化層とその特性に及ぼす影響について、大まかな傾向は把握している。しかし、窒化層の特性の最適化までは至っていない。そこで本項目では、窒化層の特性の最適化を目的とした、窒化処理条件の精査を検討する。後述する研究項目の結果をフィードバックしつつ、処理条件を決定することが最も重要であると考ええる。

【1-2】駆動部材への低温プラズマ窒素イオン注入法の実証実験(実施：パーカー熱処

理工業株式会社)

本研究開発で購入する PBII&D 装置を、パーカー熱処理工業株式会社に導入する。購入する PBII&D 装置については、製品の量産化、および ICBP システムへの導入の可能性検討を念頭に置く。【1-1】により得られた処理条件を踏まえて、設置した装置により実用製品の窒化処理を行う。処理品は後述する検討項目にてその性能を評価する。【1-1】の最適条件が実用製品にとっての最適条件とは限らないことに注意しつつ、条件の最適化について検討する。

② 低温プラズマ窒素イオン注入した処理部材の金属学的解析

窒化処理の最適条件を決定するためには、処理条件を変化させながら特性を評価するルーチンワークだけでなく、特性発現の学術的根拠を明らかにする必要がある。本項目では、処理部材の各種分析を行い、得られる構造・特性の学術的根拠について検討する。

【2-1】処理部材の表面組織、窒素濃度分布、硬さなどの分析、メカニズム解析
(実施：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター)

【1-1】、【1-2】で窒化処理を施した処理部材について、必要に応じて、光学顕微鏡による断面組織観察、XPS による窒素濃度分布および深さの測定、走査電子顕微鏡観察、硬さ分布測定、X 線回折分析などの測定分析を行う。結果より金属学的解析を行い、構造・特性に関する学術的根拠について検討する。また、学術的根拠を基礎として、窒化処理条件の最適化について検討する。

【2-2】処理部材の表面組織及び硬さなどの分析(実施：パーカー熱処理工業株式会社)
【1-2】で窒化処理を施した処理部材について、実用に耐えうる性能(仕様)かどうかを、実際の品質管理手法である表面組織観察、および硬さ分布測定により評価する。また、必要に応じて【2-1】と同様の測定分析を行う。学術的根拠に基づいた評価結果の検討を行い、【1-1】、【1-2】における処理条件の最適化・制御を達成するための参考とする。

③ 実環境下における摩擦係数、耐摩耗性の測定(実施：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター、パーカー熱処理工業株式会社)

摩擦摩耗試験は、できるだけ実際の環境に近づけた状態で行うことを検討する。実用製品の使用環境を想定し、必要に応じて、摺動条件(負荷荷重、面圧、摺動速度など)、温度、湿度、潤滑油種について検討する。自動車、建設機械などのシステムは、処理部材の適用場所により求められる仕様(特性)が異なる。そこで本研究開発では、【1-1】、【1-2】における各パラメータが、処理部材の摩擦摩耗特性及ぼす影響に

について精査し，求められる仕様を満たす窒化処理が行えるよう，最適化について検討する．処理条件の最適化だけでなく，その制御を行うことで，様々な実用製品に求められる特性の多様化に対応できるよう，準備する．本項で得られる摩擦摩耗特性結果は，処理条件の最適化・制御を達成するために必要不可欠であり，評価結果は【1-1】，【1-2】へフィードバックする．最終的には，対象とする実用製品に求められる特性を満たす，最適な処理条件の決定を目指す．

④ プロジェクトの管理・運営

事業管理者である地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センターにおいて，本プロジェクトの管理を行う．プロジェクトの研究経緯と成果について取りまとめ，成果報告書を作成する．本研究の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに，事業化に向けての課題等について研究実施者と調整を行う．再委託先事業者が作成する証憑書類について，指導・確認を行う．委員会を委託契約期間内に3回程度開催する．

1－2 研究体制

① 研究組織・管理体制

本研究開発では、PBII&D 法を用いた低温プラズマ窒素イオン注入により、浸炭した駆動系部材表面に低温にて窒素をイオン注入し、低フリクション化する技術確立し、得られた構造・特性などから学術的根拠について明らかにする。加えて、低温プラズマ窒素イオン注入装置の、機械加工ラインへのインライン化を検討し、クリーンファクトリーかつ安全な量産ラインの達成を目指す。本研究開発における研究実施者・事業管理者は以下の通りである。

研究実施者 1：パーカー熱処理工業株式会社

本研究開発により、新たに低温プラズマ窒素イオン注入装置を導入する。機械加工ラインへのインライン化を念頭に置き、導入装置の仕様を決定する。導入装置を用いて、実用化している浸炭処理部材表面の窒化処理を行う。現有の摩擦摩耗試験機を用いて、できるだけ実用環境に近づけた摺動条件で摩擦摩耗試験を行う。また、現有の組織観察環境、硬さ試験機を用いて、処理部材を評価する。この際、量産を視野に入れた処理部材の品質管理技術の構築を念頭に置く。処理条件の最適化・制御について検討する。

主として、産業製品への実用化を念頭においた評価を行う。

研究実施者 2：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター

現有の PBII&D 装置を用いて、浸炭処理部材表面の窒化処理を行う、低フリクション化、耐摩耗性向上を達成するための基礎的実験を行う。各種分析評価を行い、処理部材の構造や特性発現に関する学術的根拠を解明する。処理条件の最適化・制御について検討する。また、光学顕微鏡による組織観察環境、XPS, SEM, XRD, ボールオンディスク試験機、スクラッチ試験機、各種硬さ試験機など、世の中に存在する一般的な分析装置はほとんど現有していることから、必要に応じて様々な分析評価を行う。

主として、学術的根拠の模索や理論解析を行う。

事業管理者：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター

地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センターは、平成 18 年に独法化した機関であり、東京都産業労働局が所管官庁である。地方独立行政法人 東京都立産業技

術研究センターの事業概要は以下の通りである。

都内中小企業が抱える技術的課題の解決のために、以下の技術支援事業を行っている。

- (1)試験：試験・検査機器を持たない中小企業の依頼に応じ、製品や部品などの試験・分析を行うとともに、技術開発や品質改善のためのアドバイスを行っている。
- (2)研究：企業・業界のニーズや行政課題に応じ、新製品・新技術開発、品質向上、安全性、評価・分析等に関する研究を行っている。
- (3)相談・講習会等：電話・来所による技術相談や工場等での実地相談、産業技術に関する研修・講習会を実施している。また、機器の開放や交流活動を行い、中小企業を技術面から支援している。

② 研究実施者，研究管理者の氏名

本研究開発における研究実施者氏名，研究管理者氏名は以下の通りである。

総括研究代表者(Project Leader; PL)：

氏名： 川口 雅弘

所属： 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター 開発本部開発第二部 先端加工グループ 研究員

副総括研究代表者(Sub Project Leader; SL)：

氏名： 青木 智幸

所属： パーカー熱処理工業株式会社 取締役技術本部長

研究実施者氏名：

氏名： 星野 新一

所属： パーカー熱処理工業株式会社 技術研究所 所長

氏名： 濱本 浩行

所属： パーカー熱処理工業株式会社 研究員

氏名： 横尾 晃央

所属： パーカー熱処理工業株式会社 研究員

氏名： 牟田口 誉晃

所属： パーカー熱処理工業株式会社 研究員

研究管理者：

氏名： 大泉 幸乃

所属： 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター 事業化支援部
産業交流室 室長

氏名： 立花 幸子

所属： 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター 事業化支援部
産業交流室 交流支援係長

氏名： 加藤 光吉

所属： 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター 事業化支援部
産業交流室 副主任研究員

氏名： 金野 清彦

所属： 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター 総務部財務会計課
経理係長

氏名： 和田 雅明

所属： 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター 総務部財務会計課
経理係

③ 協力者研究体制

本研究開発では、協力者による研究体制を構築していないが、今後の展開次第で、必要に応じて協力者研究体制を構築するつもりである。

1－3 成果概要

① 浸炭処理部材への低温プラズマ窒素イオン注入法の適用

【1-1】低温プラズマ窒素イオン注入法の基礎実験(実施：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター)

本項では，低温プラズマ窒素イオン注入法の基礎実験を行った．本研究開発において重要なポイントは，浸炭により得られた性能を損なうことなく窒化を行うこと，すなわち【低温かつ熱拡散処理が不要であること】である．本研究開発では，K熱電対温度センサーを用いて注入直後の炉内試験片温度を測定した．加えて，あらかじめ標準試料の焼戻し軟化曲線を把握しておき，処理後の硬さを測定し，おおよその処理温度を推定した．図 5 に標準試料(SK105)の焼戻し軟化曲線を示す．焼戻し温度と硬さが比例関係にあることがわかる．

本研究開発で用いた試料の概略を図 6 に示す．試料は SGr420 とした．試料は，低圧浸炭処理装置(ICBP)により，あらかじめ図 7 のような浸炭熱処理を施した．

【1-2】駆動部材への低温プラズマ窒素イオン注入法の実証実験(実施：パーカー熱処理工業株式会社)

本項では，駆動部材への低温プラズマ窒素イオン注入法の実証実験を行った．本項で実際に処理した駆動部材の概観を図 8 に示す．駆動部材として，歯車を使用した．歯車の厚さは 15mm，歯先直径は 43.5mm，歯数は 18，モジュールは 2.18 である．歯車は，ICBP を用いてあらかじめ図 9 のような浸炭熱処理を施した．

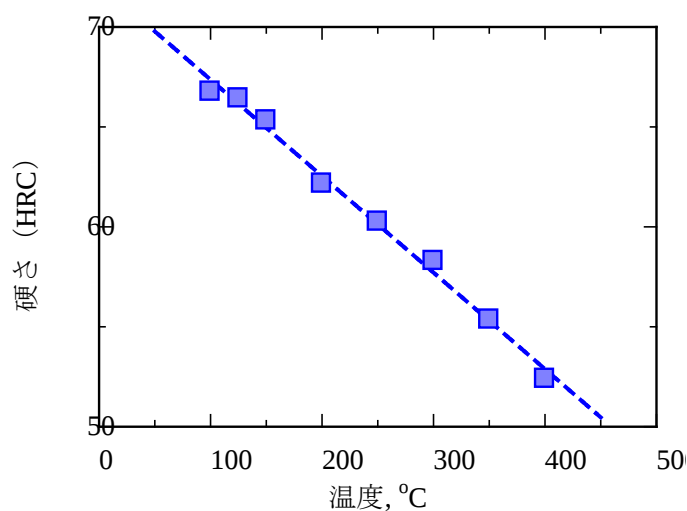


図 5 SK105 の焼戻し軟化曲線

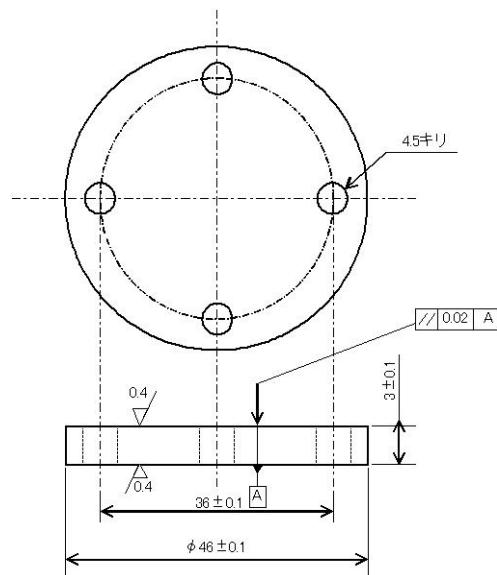


図 6 SCr420 試料の概略

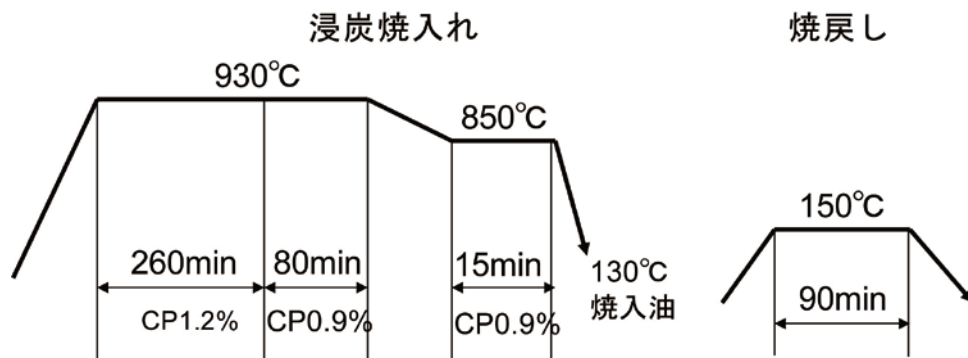


図 7 ICBP による SCr420 試料の浸炭熱処理

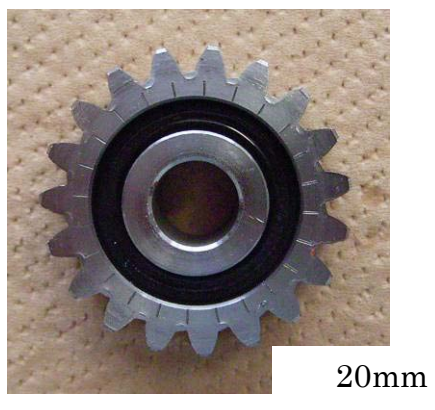


図 8 歯車の概観

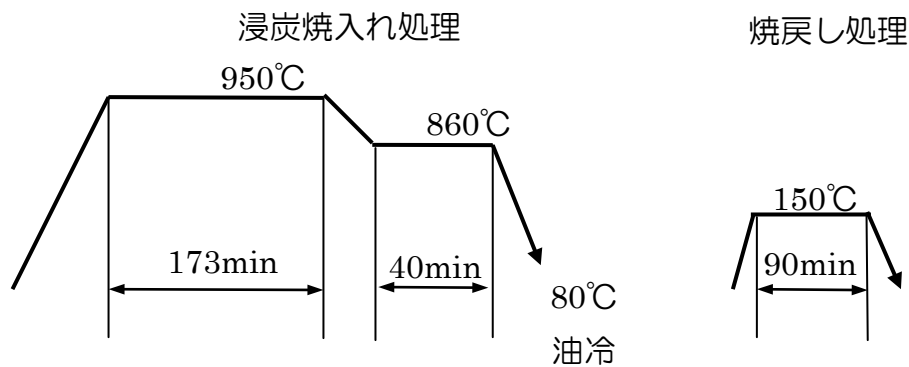


図9 ICBP による歯車の浸炭熱処理

② 低温プラズマ窒素イオン注入した処理部材の金属学的解析

【2-1】 処理部材の表面組織，窒素濃度分布，硬さなどの分析，メカニズム解析

(実施：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター)

窒化処理の初期的実験における各試料(SCr420)の硬さ分布(Hv0.1)の結果を図9に示す。

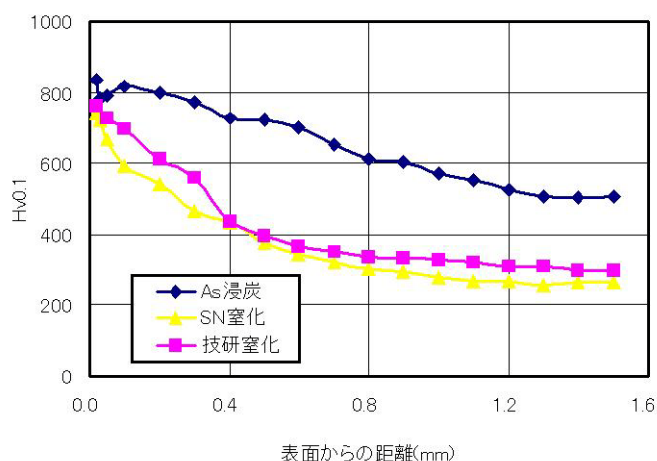


図10 SCr420 鋼試験片のマイクロビッカース硬さ試験結果

全ての試料は，浸炭熱処理において 150°Cで焼戻し工程を行い，その後必要に応じて2種類のガス窒化(SN 窒化，技研窒化)を行った．図10より，試料(As 浸炭)は，基準となる結果を示している．ガス窒化処理材(SN 窒化，技研窒化)は，窒化炉内にアンモニア (NH₃) ガスを導入し，炉内を 500～550°Cに加熱した．図より，試料(SN 窒化)，試料(技研窒化)ともに深さ方向の硬さが試料(As 浸炭)よりも低下していることから，処理中に温度が上昇し，焼戻しによる軟化が起こっていると考えられる．したがって，低温で窒化が達成できる手法が必要であることがわかる．

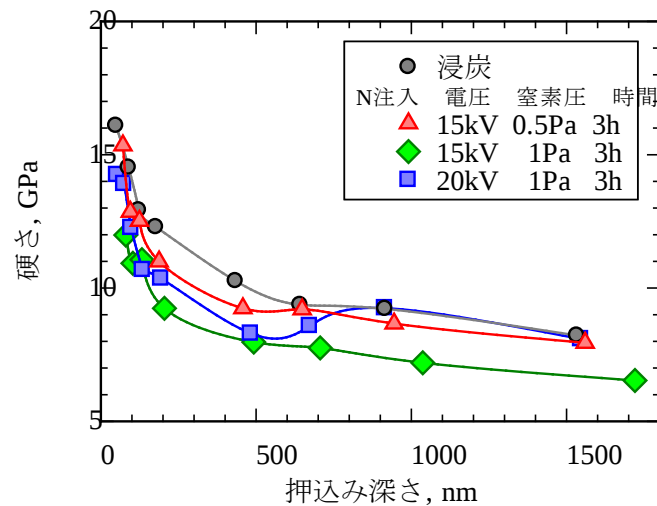


図 11 超微小硬さ試験機による各押し込み深さに対する表面硬さの変化

PBII&D 法による各種処理品と硬さの関係を図 11 に示す。図 11 より、基準である浸炭品と比較して、印加電圧 15kV、処理圧力 0.5Pa、処理時間 3h のものは、表面からの硬さの低下が小さいことがわかる。一方、印加電圧を 10kV まで下げることで、より低温処理が可能であることを確認した。摩擦摩耗特性(後述)も向上していることから、処理条件(印加電圧 10～15kV、処理圧力 0.5Pa、処理時間 3h)を主軸として、より適切な条件を模索する。

【2-2】処理部材の表面組織及び硬さなどの分析(実施：パーカー熱処理工業株式会社)窒化処理後の歯車の硬さ分布を図 12 に示す。図で、条件 2-1、2-2 は印加電圧 10kV、条件 2-3、2-4 は印加電圧 15kV、条件 2-5 は印加電圧 20kV である。図より、条件 2-5 は明らかに表面硬さが低下していることがわかる。これは処理温度が上昇することで焼戻しによる軟化が起こったためと考えられる。一方、条件 2-1～2-4 は、浸炭品(窒化未処理)と比較して表面硬さはほとんど低下していない。したがって、実用品である歯車に対しても、浸炭処理の特性を下げることなく窒化特性付与が可能であることがわかる。

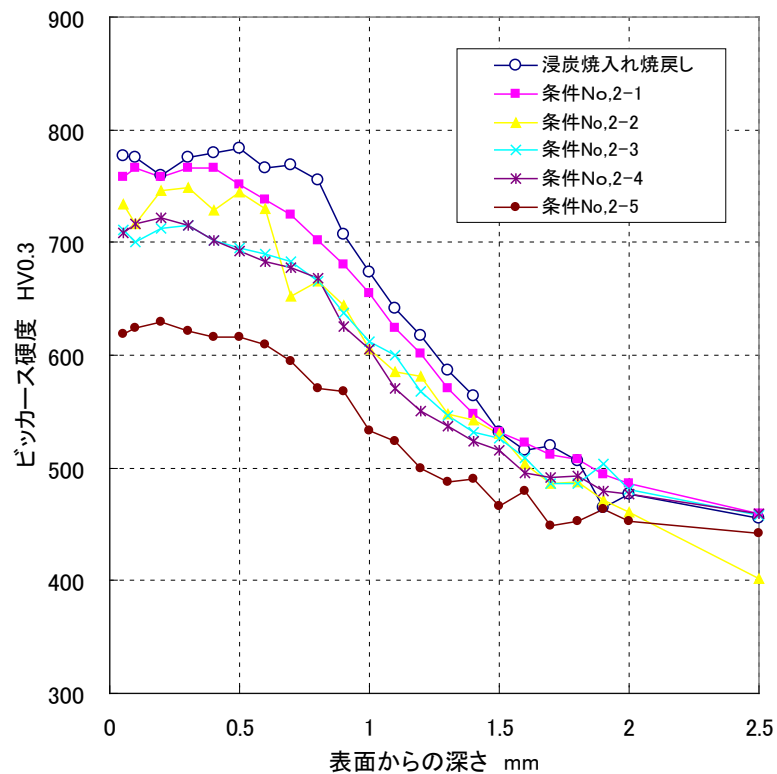


図 12 窒化処理後の歯車の硬さ分布

③ 実環境下における摩擦係数，耐摩耗性の測定(実施：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター，パーカー熱処理工業株式会社)

前述した 3 種類の注入条件（20kV-1Pa-3h，15kV-1Pa-3h，15kV-0.5Pa-3h）により作製された SCr420 鋼試験片を用いて，2 種類の潤滑油をそれぞれ使用した場合の摩擦試験結果を図 13 に図示した．図 13 より，無添加基油および直鎖脂肪酸添加油ともに浸炭処理焼戻し温度より大きい処理温度条件（20kV-1Pa-3h および 15kV-1Pa-3H）で作製された窒素注入鋼では，浸炭処理の場合よりも摩擦係数が増大する一方，低温度条件（15kV-0.5Pa-3h）で作製された試験片は浸炭処理とほぼ同等の摩擦係数を示すことがわかった．これは，処理温度の上昇により表面硬度が低下した結果摩擦増大したことが伺える．

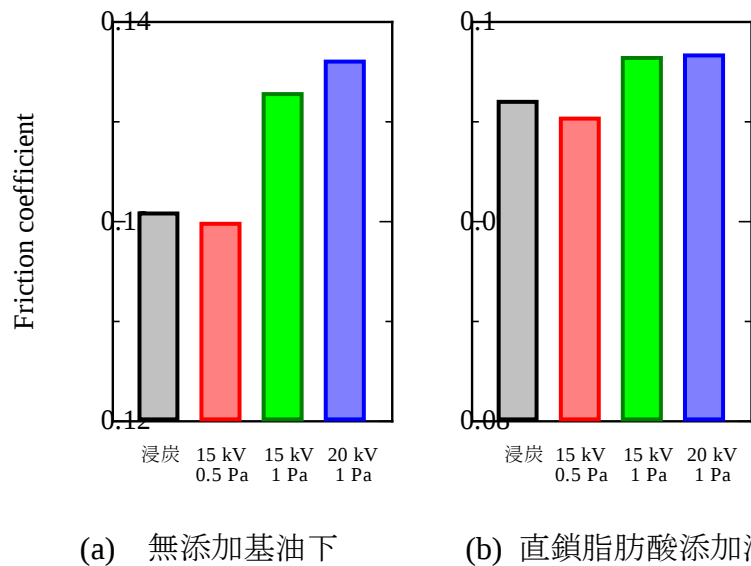


図 13 摩擦試験結果

④ プロジェクトの管理・運営

事業管理者・地方独立行政法人東京都立産業技術研究センターにおいて、本プロジェクトの管理を行った。プロジェクトの研究経緯と成果について取りまとめ、成果報告書を作成した。本研究の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに、事業化に向けての課題等について研究実施者と調整を行った。再委託先事業者が作成する証憑書類について、指導・確認を行った。研究開発推進委員会を委託契約期間内に3回程度開催した。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター

開発本部開発企画室 小林 英二

電話 (03) 3909-2151 内線663

FAX (03) 3909-2591

E-mail kobayashi.eiji@iri-tokyo.jp