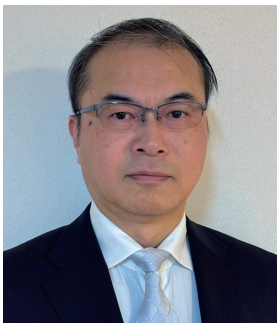
THERMOTEC 2026 特集

技術解説

プラズマ表面改質と新規材料の創成



西本　明生*

1. はじめに

材料の高機能化において，熱処理および表面改質は，材料本来の特性を引き出すだけでなく，新たな機能を付与するための重要な基盤技術である。特に，機械部品，金型，工具，摺動部材，エネルギー関連部材などでは，強度，耐摩耗性，耐食性，耐熱性，疲労特性を同時に満足することが求められる。しかし，材料全体を高強度化すると靭性（じんせい）や加工性が低下する場合があり，また高温処理によって組織粗大化や寸法変化が生じる場合もある。このような課題に対して，表面のみを選択的に改質し，基材の靭性や加工性を保持したまま表面機能を高める技術は，工業的に有効な手段である。

関西大学機能材料研究室では，プラズマを利用した表面改質，放電プラズマ焼結（Spark Plasma Sintering：SPS）を用いた新規材料創成，ハイエントロピー合金（High-Entropy Alloy：HEA）の作製と表面改質，金属積層造形材の組織制御と熱処理に関する研究を進めている。これらの研究は，単独の処理技術としてだけでなく，粉末プロセス，焼結，熱処理，プラズマ処理，薄膜形成を組み合わせた複合プロセスとして展開できる点に特徴がある。

本稿では，サーモテック 2026 への出展に関連して，当研究室で取り組んでいるプラズマ表面改質と新規材料創成に関する研究を概説する。具体的には，プラズマ窒化，プラズマ化学蒸着（Chemical Vapor Deposition：CVD）によるダイヤモンドライクカーボン（Diamond-Like Carbon：DLC）膜形成，放電プラズマ焼結，ハイエントロピー合金，金属 3D プリンターによる積層造形について，研究の背景，処理原理，得られる材料特性および今後の展開を述べる。

2．プラズマ窒化

プラズマ窒化は，窒素を含む雰囲気中でグロー放電を発生させ，電離・励起された窒素イオン，窒素ラジカル，活性窒素種を金属表面に導入する表面硬化処理である。鋼やステンレス鋼では，表面近傍に窒素を固溶または窒化物として導入することにより，硬さ，耐摩耗性，耐疲労性を向上させることができる。特にステンレス鋼に対する低温プラズマ窒化では，Cr 窒化物の粗大析出を抑制しながら，過飽和窒素を固溶した拡張オーステナイト相（γ_N相，S 相）や拡張フェライト相（α_N相，S_α相）を形成できるため，耐食性を大きく損なわずに表面硬化を図ることが可能である。

* 関西大学　化学生命工学部　化学・物質工学科　教授　A. Nishimoto　連絡先 E-Mail：akionisi@kansai-u.ac.jp

技術解説

工業炉の脱炭素化を支える電気の価値

電気を軸に省エネ・再エネ・資源循環を実装する

村 田　裕 希*

1．製造業に迫る脱炭素とエネルギー転換

製造業にとって，エネルギーは安定して使えてこそ価値を持つ。エネルギーは，必要な熱や動力を供給するだけでなく，生産能力，品質，納期，作業環境，そして製品の性能・価値を支える基盤である。設備を止めず，品質を守り，安定して生産を続けるために，電気や燃料を確実に調達することが，ものづくりの前提であった。

いま，その前提に新しい条件が加わっている。使うエネルギーを脱炭素化すること，エネルギーの使い方を最適化すること，そしてその取り組みを取引先や社会に説明できることである。原料価格，廃棄物処理費，エネルギーコスト，脱炭素要請は，従来は別々の課題として扱われてきた。しかし工場の現場では，互いに深く影響し合っている。これらの課題を一体で解くことが，ものづくりの高付加価値化につながる。

本稿でいう高付加価値化とは，CO_2 排出量の削減に加え，品質・操業の安定，エネルギーコストの予見可能性，原料調達と設備運用の強靭性（じんせい）等を高めることである。さらに，こうした取り組みを取引先に説明可能な製品価値へ転換し，取引先のScope 3 排出量の削減への貢献や，環境配慮型製品としての差別化につなげることも含む。

高付加価値化を実現するには，工場内の努力だけで完結しない。電力供給側の脱炭素化と歩調を合わせて初めて，製造プロセスの脱炭素は確かな製品価値へつながる。第 7 次エネルギー基本計画では，DX や GX の進展により電力需要が増加すると見込み，再生可能エネルギー（以下，再エネ）や原子力等，エネルギー安全保障に寄与し，脱炭素効果の高い電源を最大限活用する方針が示された。需要を抑えるだけでなく，需要が増える社会を前提に，供給側と需要側の双方を変えていく考え方である（図 1）。



出典：経済産業省 クリーンエネルギー戦略 中間整理資料を基に作成

図 1　日本における脱炭素の潮流

供給側の転換が進むなか，需要側には，徹底した省エネを前提に，電化や非化石エネルギーへの転換を進めることが求められる。工場の先端設備への更新に加え，製造プロセスそのものの転換が必要なエネルギー多消費産業については，官民一体で取り組む必要性も示されている。

＊ 関西電力株式会社　ソリューション本部　H. Murata

THERMOTEC 2026 出展寄稿

製品・技術紹介

環境を考慮したガス浸炭方法

― 社会変化に対応した滴注剤削減システム ―

木 立　徹*

1．はじめに

世界的に脱炭素・カーボンニュートラルというテーマが掲げられてから既に久しく，日本においても，2020 年に当時の菅義偉内閣総理大臣より「2050 年までに，温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする，すなわち 2050 年カーボンニュートラル，脱炭素社会の実現を目指す」ことが宣言されて以来，国家から企業・個人単位にまでそれに対する検討や取り組みが浸透している。そのような中，高温で稼働しエネルギーを非常に多く使用する工業炉に関連する我々企業としては，カーボンニュートラル社会実現に係る比重が非常に大きいと考えている。特にガス浸炭焼入れプロセスにおいては，温度 900 ℃ 台に保持することに加え，その際の雰囲気には，処理品表面から浸透拡散させる炭素を含む表面硬化熱処理となる。つまりカーボンニュートラルに関しては，熱に係るエネルギーと雰囲気に係るそれぞれのアプローチを検討する必要がある。

本稿では当社から従来の主力として提供させていただいている滴注浸炭の環境配慮における優位性と，そのメリットを損なうことなく滴注剤の使用量を削減し，それに伴い大気中へ排出される CO_2 量を低減する取り組みに関して紹介する。

2．滴注式ガス浸炭の優位性

従来のガス浸炭は，予め変成炉にてプロパン（C_3H_8）やブタン（C_4H_{10}）といった炭化水素系ガスを空気と混合し，高温下で反応させ一酸化炭素（CO），窒素（N_2），水素（H_2）から成る吸熱型変成ガス（RX ガス）を生成し，その RX ガスを浸炭キャリアガスとして浸炭室へ導入する。この変成式ガス浸炭は，元々天然資源に恵まれたアメリカにおいて開発され発展してきた。原料ガスとして使用しているガスがプロパンガスなどであることから元々のガス流通経路が整っており，日本国内においても容易に操業が可能であることからその利用が広まってきた。

一方，滴注式ガス浸炭（滴注浸炭）は，1960 年頃に開発され今日まで使用されている。メタノール等を主体とした室温で液体である滴注剤を炉内に直接滴下し，滴下された滴注剤は高温に保持された浸炭室において熱分解により CO と H_2 等から成る浸炭キャリアガスを生成する。そのため，変成ガスを発生させる変成炉や，浸炭設備へ供給する付帯設備を必要とせず，その稼働に係るエネルギーも不要である。

さらに滴注浸炭の大きな優位性として，高 CO，高 H_2 雰囲気による高速浸炭が挙げられる。変成式と滴注式のそれぞれの浸炭キャリアガスの組成

* オリエンタルエンヂニアリング株式会社　研究開発部 次長　T. Kidachi

ベル型焼鈍工程の再定義

―エネルギー効率と持続性における飛躍的進歩―

電気加熱式ベル型焼鈍炉 GREENBAFx®

Sascha Eppensteiner*
Peter Seemann**

1．はじめに

HICON/H$_2$® ベル型焼鈍炉は，過去数十年にわたって世界中で安定した操業を継続している。絶え間ない技術開発による性能の向上とコスト低減化を実現し，業界での品質面と経済性の両面で大きな前進を遂げることができた。

鉄鋼業界においては，4,900 基以上の HICON/H$_2$® ワークベースが稼働しており，年間で 8,000 万トンを超える板材と線材製品を熱処理している。

しかしながら，過去及び現在の技術は，あくまで出発点に過ぎない。将来を見据えたとき，業界全体は競争力を維持しつつ，更なる持続可能なプロセスを構築するという課題に直面している。EBNER はこのような命題を念頭に，次世代型のベル型焼鈍炉の開発に数年にわたり総力を挙げて取り組んできた。今回の開発は，エネルギー効率の最大化，環境廃棄物のゼロ化，そして操業作業手順の簡素化という 3 点を最重点目標とした。

この開発の成果として，「GREENBAFx®」と名付けた次世代型の持続可能なベル型焼鈍炉が誕生した。この熱処理設備には，加熱プロセスに熱エネルギーを直に投入（直接加熱）する革新的なシステムと，冷却時に放出される熱エネルギーを再利用（熱交換）出来るシステムが備っており，主に 2 つの使用目的が考慮されている（図 1 を参照）。

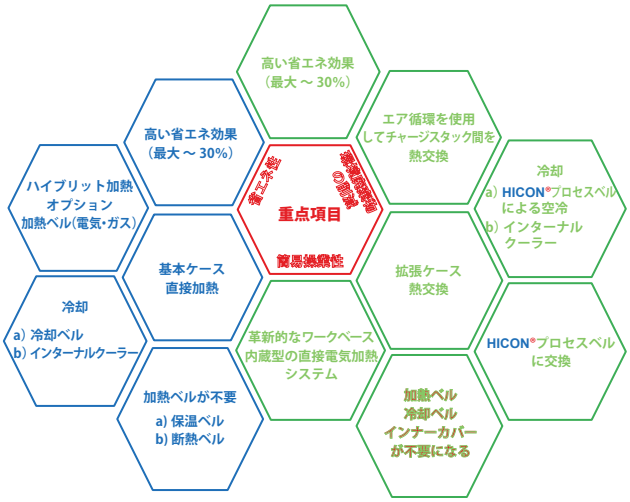


図 1　開発における重点課題

2．直接加熱型 GREENBAFx® 設備（“基本”ケース）

従来のベル型焼鈍設備では，インナーカバーに加熱ベルを被うように設置し，加熱を行う。焼鈍材（チャージ材）はインナーカバー内部の熱処理スペースに積載され，加熱ベルからの熱エネルギーは，まずインナーカバーに放熱されている。その後インナーカバーを介して熱エネルギーは熱処理スペースに伝わり，雰囲気ガスの対流によって焼鈍材へと熱が伝達されている。

* EBNER Industrieofenbau GmbH Product Management Vice President
** 同 Technology managing Executive Science and Technology Manager

THERMOTEC 2026 出展寄稿

製品・技術紹介

設備からソリューションへ：熱処理設備メーカーが挑む“DXで拓く新たな価値”

中田　綾香*

1．はじめに

近年，製造業を取り巻く環境は大きく変化している。品質向上や生産性向上に加え，人材不足への対応，技能伝承，設備の安定稼働など，ものづくり現場に求められる課題は多様化・複雑化している[1)]。熱処理分野においても，高品質化や安定操業に加え，多品種少量生産や開発期間短縮への対応が求められている。一方，熱処理プロセスは，加熱，雰囲気制御，搬送，冷却など多くの要素が相互に影響し合う複雑なシステムである。そのため，従来の経験や勘に基づく運用だけでは最適化が難しくなりつつあり，プロセスの見える化やデータ活用による合理的な意思決定が重要となっている[2)]。こうした環境変化を背景に，熱処理設備メーカーに求められる役割も変化している。従来は高性能な設備を提供することが主な使命であったが，現在では品質向上，生産性向上，設備保全，人材育成など，お客様が抱える課題そのものを解決するソリューションの提供が期待されている[3)]。

このような課題に対応するためには，設備単体の性能向上だけでなく，熱処理プロセス全体を俯瞰（ふかん）し，現象や設備状態を正しく把握した上で最適化を図ることが重要である。当社では，設備提供にとどまらずソリューションを提供するための基盤として，熱処理DXを推進している。具体的には，CAEによる熱処理現象の見える化，IoTによる設備・運転状態の可視化，AIによる知識活用や最適化支援を組み合わせることで，お客様の課題解決とものづくり価値の向上への貢献を目指している。

本稿では，熱処理設備メーカーとして培ってきた熱技術，雰囲気技術及びプロセス知見を基盤として，CAE，IoT，AIを活用したソリューション提案への取り組みと，その活用事例について紹介する。

2．CAEによる熱処理プロセスの見える化

CAE（Computer Aided Engineering）は，熱や流れ，応力といった物理現象をコンピュータ上で再現し，可視化する技術である。熱処理プロセスでは，加熱，冷却，雰囲気，相変態など数多くの現象が複雑に関係しており，その多くは炉内や材料内部で発生するため直接観察することが困難である。そのため，熱処理品質や設備性能を向上させるためには，現象を正しく理解することが重要となる[4)]。当社では，図1に示す熱流体解析，構造解析，熱処理解析，誘導加熱解析の4領域を中心にCAEを活用している。さらに，各解析を連携・連成させることで，温度履歴から硬さ，ひずみに至るまで一連の熱処理現象を評価している。CAE

* 株式会社ジェイテクトサーモシステム　工業加熱装置部 設計グループ 装置開発チーム　主担当　N.Ayaka
連絡先Eメールアドレス：ayaka_nakata@thermos.jtekt.co.jp

THERMOTEC 2026 出展寄稿

製品・技術紹介

過熱水蒸気を用いた金属資源（スクラップ・廃棄物）のリサイクル技術の紹介

齊　藤　　陽*

1．はじめに

現代社会における持続可能な発展の実現に向けて，従来の「大量生産・大量消費・大量廃棄」を前提とした線形経済（リニアエコノミー）から，資源を効率的に循環利用する循環経済（サーキュラーエコノミー）への移行が課題となっている。

しかしながら，現行のリサイクルシステムにおいては，［複合部材化による分離・選別の困難さ / 低品位スクラップのアップサイクル技術の限界 / 回収プロセスの経済性やインフラの未整備］といった技術的・社会的な課題が依然として存在する。

そこで本稿では，**金属資源リサイクル向上を目的とした弊社特許技術である過熱水蒸気を用いたシステム・設備**を紹介する。

2．過熱水蒸気（Super-Heated Steam）とは

過熱水蒸気とは，大気圧で飽和蒸気をさらに加熱して得られる高温の水蒸気（図 1）のことである。その特徴として，（1）熱風と比較して容積当たり 4 倍の熱エネルギーを有し，対流・輻射（放射）・凝縮の複合伝熱により急速加熱・乾燥が可能，（2）**過熱水蒸気中では極低酸素雰囲気となるため被処理物への酸化抑制効果が得られる**等が挙げられる。

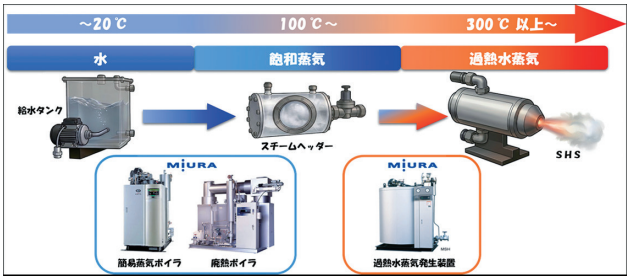


図 1　水～飽和蒸気～過熱水蒸気のイメージ

従来，過熱水蒸気は発電の蒸気タービン用途や食品業界（滅菌・殺菌や乾燥・焼成加工）に用いられる事が一般的であったが，弊社は 2004 年から基礎研究を経て，**過熱水蒸気とロータリーキルンを組み合わせた過熱水蒸気システムを構築**（特許情報／図 2, 3）し，金属資源リサイクルをメインに拡販している。

【特許情報】
特 7546957 号，第 7784167（分割特許）
「加熱装置，ガス処理装置及び金属回収システム」

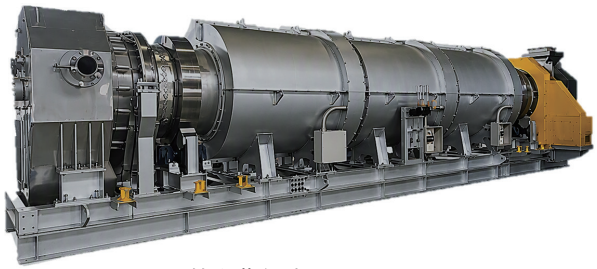


図 2　過熱水蒸気式ロータリーキルン

* 株式会社タナベ　東京本部　ヒートシステムグループ　課長　A. Saito
連絡先 E-Mail アドレス：akira-saito@tanabe-co.co.jp

THERMOTEC 2026 出展寄稿

製品・技術紹介

多様な電気加熱が拓く生産プロセスの最適化

～ CN，品質，生産性向上の実現 ～

松原　右太*

要約：産業分野におけるカーボンニュートラルの実現に向けては，エネルギー消費の大きな割合を占める熱プロセスの見直しが重要である。特に加熱，乾燥，焼成，予熱といった工程では，従来から燃焼式設備が広く用いられてきたが，単純な熱源転換だけではコストや品質面の課題が残る。本稿では，省エネルギーの基本視点を整理したうえで，中部電力ミライズ株式会社が取り組む開発一体型ソリューションの考え方と，電気加熱技術の特徴を解説する。さらに，「赤外線×熱風ハイブリッド塗型昇温ブース」および「赤外線式焼き嵌め加熱装置」の開発事例を取り上げ，電化による省 CO_2 に加え，品質向上，生産性向上，省力化，安全性向上を同時に実現する可能性について述べる。

1．はじめに

2050 年カーボンニュートラルの実現に向け，産業分野におけるエネルギー利用のあり方は大きな転換点を迎えている。特に工業炉，乾燥炉，加熱炉などに代表される熱プロセスは，製造現場における品質や生産性を支える一方で，全体の 40 ～ 50 %と多くのエネルギーを消費する工程でもある。そのため，熱プロセスの省エネルギー化及び電化は，CO_2 排出量削減に向けた重要な取り組みの一つである。

一方で，燃焼式の加熱設備を単純に電気式へ置き換えるだけでは，必ずしも省エネルギーや生産性向上につながるとは限らない。電気加熱には多様な方式があり，それぞれに適したワーク，温度域，加熱目的が存在する。したがって，電化を検討する際には，単純に熱源転換するだけでなく，加熱対象や工程条件に応じて最適な加熱方式を選定し，生産プロセスそのものを最適化する視点が重要となる。

また，近年の製造現場では，エネルギーコストの上昇，人手不足，品質要求の高度化，設備老朽化への対応など，複数の課題が同時に顕在化している。熱プロセスはこれらの課題と密接に関係しており，加熱時間の短縮は生産性に，温度分布の均一化は品質に，作業者が熱源に近づく頻度の低減は安全性や作業環境に影響する。したがって，熱プロセスの改善は単なる省エネルギー対策にとどまらず，ものづくり全体の競争力を高める取り組みとして位置付けられる。

当社では，熱プロセスの改善を，単なる省エネルギー設備の導入ではなく，お客さまの生産工程における課題解決として捉えている。現場の制約条件や品質要求を踏まえ，加熱方式の選定，試験・シミュレーション，装置化，導入後の効果検証までを一体で進める点が，開発一体型ソリューションの特徴である。特に，電気加熱の適用にあたっ

＊　中部電力ミライズ株式会社　ビジネスソリューション事業本部　ものづくり革新部　Y.Matsubara
連絡先 E-Mail アドレス：Matsubara.Yuuta@chuden.co.jp

THERMOTEC 2026 出展寄稿

製品・技術紹介

高周波誘導加熱設備の機能向上に向けた取り組み

― 設備技術とシミュレーション技術の融合による高付加価値化 ―

小 宮　誠*
坪 川　武 史**

概要：近年の製造業，特に自動車産業や建設機械産業においては，多品種少量生産への柔軟な対応，生産ラインの省人化・無人化，品質保証の高度化，さらにはカーボンニュートラル社会の実現に向けた徹底的な省エネルギー化が強く求められている。これらの要求に応えるための有力な手段として，加熱効率が高く，自動化ラインへの適用が極めて容易な熱処理技術である「高周波誘導加熱」が広く利用されている。しかしながら，顧客ニーズの多様化と高度化に伴い，従来の誘導加熱設備に対し，さらなる高機能化と高付加価値化が要求されている。
そこで当社では，生産設備の「効率化」「省人化」「スマート化」「省エネルギー化」を 4 つの柱とした革新的な設備開発を推進している。同時に，電磁界解析ソフトウェアを用いた誘導加熱シミュレーションやパラメトリック最適化解析を積極的に活用し，設備設計や加熱条件開発の高度化，開発期間の大幅な短縮にも取り組んでいる。
本稿では，当社が推進する高周波誘導加熱設備の機能向上に向けた多角的な取り組みと，それを技術的に支えるシミュレーション技術の活用事例，さらに最新の金属 3D プリンタ技術を用いた加熱コイルの造形技術について詳述する。

1. はじめに

高周波誘導加熱は，加熱コイルに高周波電流を流し，発生した交番磁束によって被加熱物内部に渦電流を発生させ，そのジュール熱により加熱を行う技術である。被加熱物自体を発熱させるため熱効率が高く，短時間加熱や部分加熱が可能であることから，自動車部品，建設機械部品，鋼材加熱など幅広い分野で利用されている。

また，高周波焼入れでは，電流が被加熱物の表面付近に集中する「表皮効果」を利用し，必要な部位のみを加熱・焼入れできる。このため，歪みが少なく，自動化やインライン化への適用も容易である。現在ではクランクシャフト，等速ジョイント，ラックバー，ハブユニットなど，自動車の重要保安部品に広く適用されている。

一方で近年は，生産設備に対して品質保証の高度化，多品種対応，省人化，カーボンニュートラルへの対応など新たな要求が増加している。このため設備そのものの機能向上が重要な技術課題となっている。

2．効率化への取り組み

多品種少量生産や工場のスペース制約に対応するため，当社では設備の効率化に向けた革新的なアプローチを採用している。

2.1　クラムシェル方式による省スペース化

従来のリングコイルを用いたシャフト類の移動焼入れ方式では，被加熱物を加熱位置まで移動させるための搬送機構や，均一加熱のための回転機

* 電気興業株式会社　高周波統括部　設計部 設計支援課 スペシャリスト　M.Komiya
** 同　同　開発部 設備開発課 課長　T.Tsubokawa