

アンモニア分解ガスからの水素精製技術

中川 祥一*

1. はじめに

我が国では、2050年カーボンニュートラルの実現に向けたGX政策の一環として、水素・アンモニア等の導入拡大が重要な施策に位置づけられており、その導入量について2030年に最大300万トン/年、2050年に2,000万トン/年程度（いずれも水素換算）とする目標が示されている¹⁾。カーボンニュートラルの観点では、利用時だけでなく、製造・輸送を含むサプライチェーン全体で温室効果ガス排出の少ない水素等の導入が重要となるが、我が国では再生可能電力のコストやCCS適地の制約などが課題として指摘されており、国内製造と併せて海外の安価な再生可能エネルギー等を基に製造する水素・アンモニア等の調達を視野に入れたサプライチェーン構築が進められている²⁾。

このような背景のもと、アンモニアは直接燃焼により燃料として利用できることに加え、分解により水素を取り出せる水素キャリアとしての活用が期待されている。直接燃焼によるアンモニアの利用例としては、発電混焼用途での利用に向けて、海外で製造される低炭素アンモニアを日本へ輸入・調達する計画があり、愛知県内の大型石炭火力発電所では、2029年度を目標とした熱量比20%のアンモニア混焼発電の商用運転開始に向け、燃料アンモニアの調達及び受入設備の整備が進められている³⁾。

一方、当社はアンモニアの水素キャリアとしての可能性に着目し、2014～2018年に内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム「エネルギーキャリア」における「アンモニア水素ステーション基盤技術」（以下、SIPプロジェクト）に参画し、アンモニア分解ガスから燃料電池自動車（以下、FCV）等に供給可能な高純度水素を得る精製技術の開発に取り組んだ。本プロジェクトでは、アンモニア分解ガス中に含まれる窒素や未分解アンモニア等の不純物を除去する精製方法を検討し、FCV用水素燃料規格（ISO 14687-2（2012）Grade D、表1）に適合する高純度水素の製造可能性を確認した⁴⁾。

表1 実測アンモニア分解ガス組成とFCV用水素燃料規格（ISO 14687-2（2012）Grade D）[ppm]

成分	実測アンモニア分解ガス	FCV用水素燃料規格
水素 (H ₂)	約 75 %	> 99.97 %
全炭化水素	6 (CH ₄)	< 2 (CH ₄ 換算)
水分 (H ₂ O)	—	< 5
酸素 (O ₂)	< 1	< 5
ヘリウム (He)	< 100	< 300
窒素 (N ₂)	約 25 %	< 100 (N ₂ + Ar 合計)
アルゴン (Ar)	< 500	
二酸化炭素 (CO ₂)	< 1	< 2
一酸化炭素 (CO)	< 1	< 0.2
硫黄化合物 (S)	< 0.004	< 0.004
ホルムアルデヒド (HCHO)	< 0.01	< 0.01
ギ酸 (HCOOH)	< 0.02	< 0.2
アンモニア (NH ₃)	870	< 0.1
ハロゲン化物	< 0.02	< 0.05
粒子	—	< 1 mg/kg

※ 本稿におけるガス組成表示は特記無き場合、体積基準を表す

* 日本酸素株式会社 技術開発ユニット 山梨ソリューションセンター ガス分離開発部 吸着開発課 S. Nakagawa



PID 制御の限界を超える AI 制御コントローラ「E-Smart MPC」

深 津 卓 弥*

概要：工業炉の温度制御では、熱慣性、むだ時間、多ゾーン間の相互干渉、負荷変動及び安全制約を同時に扱う必要がある。本稿では、設備データから予測モデルを構築する学習型モデル予測制御と、産業用エッジハードウェア、PLC 接続、ブラウザ GUI を一体化した「E-Smart MPC」の構成、工業加熱設備への適用方法及び導入上の留意点を紹介する。

1. はじめに

工業加熱設備では、製品品質を左右する温度均一性と処理時間を確保しながら、燃料又は電力の消費を抑えることが求められる。対象には、溶解炉・加熱炉・熱処理炉・焼結炉・焼成炉・乾燥炉などがあり、いずれも大きな熱容量、むだ時間、放射・対流・伝導の複合現象を含む。さらに、被加熱物の質量、初期温度、搬送速度、炉扉開閉、外気温、燃料性状などの変化が炉内温度に影響する。

PID 制御は信頼性と実装容易性に優れ、工業炉の基盤技術として広く用いられている。一方、多ゾーン炉では各制御ループが互いに干渉し、あるゾーンの加熱量変更が隣接ゾーンの温度にも影響する。このため、個別ループを順番に調整しても、設備全体としての最適状態が得られない場合がある。安定性を重視して過大な安全余裕を持たせれ

ば、オーバーシュートは抑えられるが、待機時間の増加や追従性の低下、及び排熱損失につながる。



写真 1 E-Smart MPC の外観

* 株式会社 Proxima Technology 代表取締役 T. Fukatsu 連絡先 E-Mail : takuya.fukatsu@proxima-ai-tech.com



設備単位の電力計測による 省エネ改善とヒータ監視への応用

小笠原 瞳*

1. はじめに

日本政府は2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロとする「カーボンニュートラル」の実現を国家目標として掲げている。米国のパリ協定離脱など、気候変動対策をめぐる揺れる場面もあるが、製造業をはじめ多くの企業がCO₂削減と省エネの実践を求められているのは変わらない。

加えて、電気料金の高騰も企業の経営を圧迫している。中東情勢の緊迫化などを背景に、エネルギーコストは近年大幅に上昇しており、省エネは避けて通れない課題となっている。

省エネの必要性を感じつつも、「何から手をつければよいのか分からない」と悩む方も多いのではないだろうか。省エネ活動に取り組む上で、まず重要なのは「現状を知ること」である。どれだけ電気を使っているかを把握して初めて、具体的な改善策が見えてくる。

今回、製造現場における電力の見える化を手軽に実現するソリューションとして、当社の「IoT電力センサユニット(以下、IoT電力センサ)」と「SIRCクラウド」を紹介するとともに、省エネ活動の事例とヒータ断線検出の応用例を説明する。

2. 省エネ活動に関する課題

省エネの必要性を認識しながらも、実際の現場では取り組みを進める上でいくつかの課題がある。

2.1 優先順位が付けられない

電力会社から届く請求書を見れば、工場全体の電力使用量は把握できる。しかし、設備ごとの使用状況までは分からないため、どの設備にムダがあるのか、どこから改善すべきかを判断しにくい。

2.2 設置に手間がかかる

一般的な積算電力量計は高精度な計測が可能な一方、設置には電気工事が必要となり、ライン停止や専門業者の手配、設置コストが発生する。設置箇所が増えるほどコストも増加し、場合によっては年に一度の定期整備時にしか対応できないなど、迅速な導入が難しい。比較的容易に導入できるクランプメーター等の可搬式電流計は、電流値のみをもとに電力を算出するため、負荷変動に伴う力率[※]の変化を反映できず、実際の消費電力を正確に把握することが難しい。

※ 力率とは、電源から供給された電力のうち、実際に有効に使われた電力の割合を示す値である。力率は設備の種類や稼働状況によって変化するため、電流値だけをもとに電力を算出すると、実際の消費電力と大きく差が生じる場合がある。力率を反映した計測と簡易計測による差については、5章で具体例を示す。

* 株式会社 SIRC (サーク) H. Ogasawara 連絡先 E-Mail アドレス: pr@sirc.co.jp

カーボンプライシング時代に対応する 工業炉の廃熱回生技術



小山 亮*

1. はじめに

関東冶金工業株式会社（以下、KYK という）は、1957 年の創業以来、自動車部品、電機部品、繊維などの幅広い業界に向けて、工業炉の製造から販売、メンテナンスまでを手掛けるメーカーである。神奈川県平塚市の本社を拠点に国内にとどまらずグローバルに工業炉を展開している。

約 70 年間工業炉を製造し続けてきた中で、時代と共に需要は変遷し、近年は 2050 年カーボンニュートラル（以下、CN という）宣言により、急速に環境負荷低減が求められるようになっていく。また、政府によるカーボンプライシングの導入検討により¹⁾、将来的に CO₂ 排出量がコストを左右する重要な指標となる可能性がある。そのため、工業炉のユーザーにとっても CO₂ 排出量低減は重要な課題となりつつある。KYK では以前より CO₂ 排出量低減に向けて様々な省エネ化に取り組んできたが、当社は熱音響ヒートポンプと呼ばれる「熱を音に変え、音を冷熱に変える技術」に注目し、これを炉の冷却プロセス等へ適用することを試みている。本稿では初めに KYK 工業炉の簡単な紹介をした上で、省エネ化技術と熱音響ヒートポンプを用いた工業炉への適用について紹介する。

2. 現在に至るまでの省エネの取り組み

2 章では、KYK がこれまで炉の省エネ化に向けて取り入れてきた技術や設計上の取り組みを紹介する。1978 年の業界初となる変成バーナの内蔵化を筆頭に、省エネ型ラジエントチューブバーナの開発、ローラーハース式搬送の採用、さらには築炉材の進歩を反映した高性能断熱材の適用について述べる。

2.1 代表的な KYK の工業炉

KYK は主に連続炉を製造販売している。連続炉とは図 1 に示すように入口、加熱室、冷却室、出口といったように必要な部屋が繋がった状態の炉である。なお、同図で示す加熱源はヒータあるいはバーナとなる。その中を何らかの連続搬送方法を用いて製品を移動させ熱処理することが可能である。処理の目的としては金属の熱処理、鉄鋼やアルミ等の金属ろう付、炭素繊維やセラミックス等の焼成、焼結などが挙げられる。

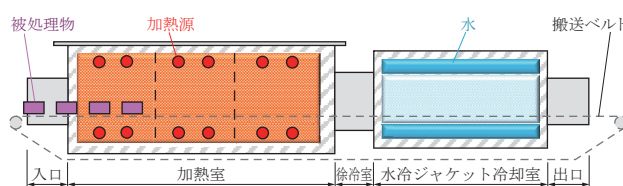


図 1 連続炉イメージ図

* 関東冶金工業株式会社 技術開発室 R. Koyama

熱処理分野における C/C コンポジットの最新動向 — 高温治具・スプリング・異方性材料への展開 —

長尾 博孝*

1. はじめに

C/C コンポジットは、炭素繊維を炭素または黒鉛質マトリックスで補強した複合材料である。構成元素が炭素であるため密度はおおむね $1.5 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ と金属の約 $1/4 \sim 1/5$ であり、不活性雰囲気では 2000°C 級の高温域でも強度低下が小さい。さらに、炭素繊維による補強により一般黒鉛より高い強度・弾性率・靱性を示し、熱衝撃にも強い。かつては製造期間が長く高価であったため航空宇宙や航空機ブレーキなど特殊用途が中心であったが、炭素材料の供給拡大と製造技術の進歩により、熱処理分野でも耐熱鋼や黒鉛の代替材料として採用が進みつつある。

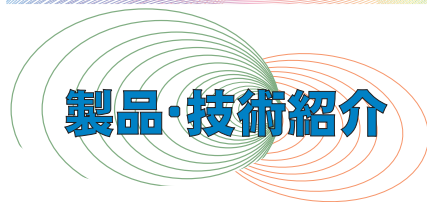
熱処理工程では、治具及び炉内部材が製品と同じ温度履歴を繰り返し受けるため、部材重量、熱変形、熱疲労、酸化劣化が生産性と品質に直結する。金属治具は室温強度に優れる一方、高温では軟化・クリープ・スケール生成を避けにくい。黒鉛材は高温安定性に優れるが、脆性破壊や大型薄肉構造への制約がある。これに対し C/C コンポジットは、軽量で、熱膨張係数が繊維補強方向で $1 \sim 2 \times 10^{-6}/\text{K}$ 程度と小さく、繰り返し熱処理での寸法安定性に優れる。この特徴が、近年の自動化、省エネルギー化、長寿命治具への要求と合致している。

近年の熱処理分野では、単に高温に耐える材料を選定するだけでなく、炉内の有効容積、昇温・冷却時間、搬送精度、治具交換頻度、作業者負荷、さらには CO_2 排出量まで含めた総合的な工程設計が求められている。C/C コンポジットは、このような複数の要求に同時に応える材料として再評価されている。特に真空炉、不活性雰囲気炉、ろう付け炉、焼結炉などでは、酸化を抑制できる雰囲気条件と C/C コンポジットの特性が合致しやすく、従来は特殊材料と見なされていた C/C が、実用的な量産治具材料へ移行しつつある。

2. 材料設計と製造技術の動向

C/C コンポジットの代表的製造法には、炭化水素ガスの熱分解炭素を繊維間に析出させる CVD/CVI 法と、樹脂またはピッチを含浸・炭化・黒鉛化する含浸法がある。CVD/CVI 法は緻密で高密度な材料を得やすいが、設備費が高く処理時間も長い。一般産業用途では、炭素繊維プリフォームに樹脂やピッチを含浸し、炭化・黒鉛化を繰り返す方法が主流である。ただし、高密度化のためには含浸・焼成サイクルを何度も繰り返す必要があり、製造工程が長くなる（デメリットがある）。これに対し、ピッチ由来の高残炭率原料を用いることにより、含浸・焼成回数を抑え、量産性とコストの

* 株式会社 CFC デザイン 取締役フェロー・技術部長 H. Nagao 連絡先 E-Mail : nagao-h@tmt-cfc.jp



1000℃以下の加熱炉向け炉内監視用 ITV

印 出 政 矢*
安 田 敏 樹**
湯 浅 章***

1. はじめに

工業炉の操業において、雰囲気温度や雰囲気成分の把握は当然行うとしても、それだけでは不十分となりつつある。運転状況をより詳細に把握するために炉内の観察は重要である。一方、目視では定量的な値を得られず、また近年は作業環境の改善要求や熟練者の減少といった課題もある。そのような状況から、工業炉の機能向上のため、炉内監視 ITV (Industrial TeleVision) を設置する例が増えている。炉内監視 ITV を導入すれば、過去の操業時との炉内状況の比較も可能となり、生産の安定性・再現性向上といった効果も期待できる。

京都 EIC では、ガラス窯や焼却炉向けに、可視光カメラを用いた炉内監視 ITV システム「Phoenix Eye “Ace”」を開発し、販売してきた。

Phoenix Eye “Ace” は、

- ・リレーレンズの採用によりレンズ先端を炉の内壁付近に位置することが出来るので、炉内全体を観察できる。
- ・カメラを炉外に出せるため、冷却を軽微にできる。

- ・レンズ先端部からエアーを吐出させてレンズへの汚れの付着を防ぎ、メンテナンス負荷を軽減できる。

などの利点がユーザーに好評であり、今まで 100 台以上を納入してきた。

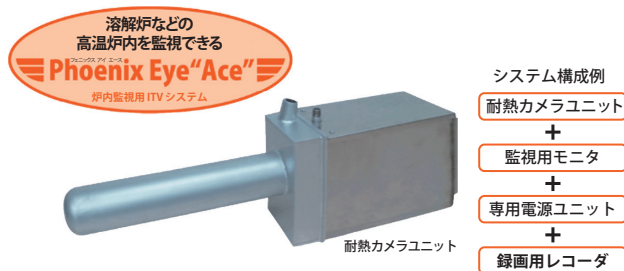


図 1 Phoenix Eye “Ace”



写真 1 Phoenix Eye “Ace” による炉内監視画像

* 京都 EIC 株式会社 東京営業所 M. Inde
** 同 技術顧問 T. Yasuda
*** 同 技術顧問 A. Yuasa

機能性液体材料「iconosTM」による 耐食性コーティングと工業炉部材の長寿命化

元 野 隆 二*

坪 田 輝 一**

1. はじめに

工業炉，熱処理装置，半導体製造装置などの高温プロセスでは，黒鉛，炭素材料，SiC ヒータ，金属部材など，多様な炉内部材が使用されている。これらの部材は，高温，反応性ガス，腐食性雰囲気，熱サイクルなどの厳しい環境にさらされるため，表面反応，酸化，窒化，腐食，剥離などによる劣化が課題となる。これら部材の劣化は，交換頻度の増加，装置停止時間の発生等，メンテナンス負荷の増大につながるため，工業加熱分野では，設備稼働率向上や保守コスト低減の観点から，部材の長寿命化と耐久性向上が強く求められている。

三井金属では，難溶性元素を独自技術により溶液化した機能性液体材料「iconosTM」（イコノス）を開発している。iconosTMは，各種レアメタル元素を含む溶液原料であり，塗布，乾燥，焼成という比較的簡便な工程により，酸化物系や炭化物系コートなどへ展開できる。本稿では，iconosTMの概要を紹介するとともに，工業炉部材への応用として，iconosTMを用いた耐食性コーティング事業の事例について述べる。

2. iconosTMの概要

iconosTMは，Ta₂O₅，Nb₂O₅，HfO₂，MoO₃，WO₃などのレアメタル酸化物や，LiTaO₃，LiNbO₃，BaTiO₃などの複合酸化物成分を溶液中に安定に存在させた液体材料である。従来，これらの元素は水系又は

アルコール系溶媒中で安定に取り扱うことが難しく，用途によってはアルコキシド原料や塩化物原料などが用いられてきた。しかし，アルコキシド原料は加水分解しやすく，塩化物原料ではハロゲン由来の課題が生じる場合がある。iconosTMは，このような従来原料の取り扱い上の制約を低減し，液体プロセスによる材料設計の自由度を高めることを目的とした材料である。

iconosTMの主な特長は，第一に，難溶性元素を含む液体原料であること，第二に，有機金属化合物のような加水分解を伴わず，大気中でのハンドリング性に優れること，第三に，ハロゲン，硫酸，硝酸を含まない設計が可能であること，第四に，塗布後の乾燥，焼成により緻密な膜を形成できることである。また，複数の溶液を混合することで組成設計が容易であり，複合酸化物，元素ドーパ材料，触媒担持材料，電池材料，またそれらの基材，粉体へのコーティングなど，幅広い用途へ応用できる。



写真1 iconosTM 外観

* 三井金属株式会社 R. Motono

** 國友熱工株式会社 T. Tsubota

放射率補正が不要な 2 色式サーマルカメラ

臼井 寛之*

1. はじめに

科学・工業分野における温度計測では、接触式としては熱電対が使用されることが多い。熱電対は正確な温度を計測できる反面、物体に接触させる必要があり、また「点」の温度しかわからないという欠点もある。一方、放射の測定から温度を計測するものとして、輝度温度計、放射温度計、赤外温度計等の名前をあげることができるが、正確な温度を計測するにはその物体と黒体との放射量の比である放射率による補正が要求される。しかしながら、放射率は比検体の物質構成や形状等によって異なるため、正確な値を知ることは困難である。

被検体からの放射を計測することにより温度を測定する方法でありながら、放射率の影響を排除できる温度計測法として 2 色温度計測法が古くから知られ、これを応用した温度計が実用化されている。この 2 色温度計は、非接触で、高速に、放射率の補正無しに温度計測を可能とするものであるが、熱電対同様比検体の「点」の計測にしか応用できない。これに対して今回紹介するシステムは、撮影された画像から 2 色温度計測法を用いて温度を算出するもので、いわば 2 次元画像素子を画像撮影センサーかつ温度センサーとして活用することにより、被検体の画像と温度分布を同時に捕捉できるものである。以下にその概要を紹介する。

2. 2 色法の原理

物体からの電磁放射は物体の温度が高くなるに従って、放射量が増大する（可視光域では輝度が高くなる）、放射ピーク波長が短くなる（可視光域では赤色から青白い色になる）ことが知られている。黒体についてこれを図示すると図 1 のようになる。この図の放射の曲線は、温度に対して 1:1 で対応している。つまり温度によって曲線が全て異なるため、ある温度の黒体の放射に関してこの曲線、即ち分光分布特性がどれであるかを計測すれば、温度を知ることができることになる。

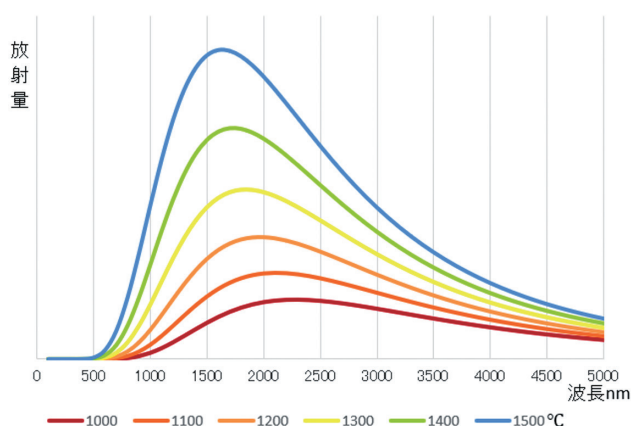


図 1 黒体放射の温度による変化

2 色温度計測法ではこの曲線を特定する方法として、二つの波長における放射量を測定し、その比を算出することによって行う。この値は各黒体温度に対して、固有で一つの数値しかないので、

* 株式会社サーメラフォニクス 代表取締役 H. Usui 連絡先 E-Mail アドレス : info@thermera.co.jp



DUNGS' Approach to Carbon Neutrality: Synchronizing Combustion Controls and Hydrogen Supply for the Process Heat Industry



Simon Dungs*



八木 克記**

1. Introduction

The global goal of moving away from fossil fuels by 2050 has changed the so-called “Thermal Energy Transition” from a topic of theoretical discussion to a real industrial mission, for which all stakeholders in the Process Heat industry must now take clear responsibility. The shift from natural gas to hydrogen (H₂) is no longer a question of “if” but “how fast,” which means that companies delaying their preparation may find themselves left behind once the carbon-neutral targets are fully enforced. As these targets become stricter, the Process Heat industry now stands at an important turning point, where the fossil fuel combustion technology used to produce heat must be re-engineered so that it can match the requirements of a zero-emission future.

Small and Medium-sized Enterprises (SMEs), which form the backbone of the Process Heat industry in both Germany and Japan, are currently under strong pressure from both society and regulatory authorities,

and they must therefore act proactively to avoid the risk that their gas-based equipment becomes a wasted investment. In such an environment, we believe that our role as a combustion controls supplier must change in a fundamental way: we are no longer simply suppliers of hardware, but partners who help our customers carry out a safe energy transformation without losing safety or production continuity. This mission, which has guided Karl Dungs GmbH & Co. KG (DUNGS) for many decades through its work on gas safety, has now developed into a clear and complete strategy for the hydrogen reality which this article presents to the Japanese Process Heat industry.

2. Engineering Approach for the Hydrogen Reality

Technical readiness is the foundation on which every successful energy transition must be built. While hydrogen is clearly the key to reducing carbon emissions in energy-intensive industries, its physical

* Karl Dungs GmbH and Co. KG Chief Operating Officer S. Dungs 連絡先 E-Mail : simon@dungs.com

** カール・デュングス合同会社 職務執行者社長 K. Yagi 連絡先 E-Mail : k.yagi@dungs.jp