

## TODAY

## 鉄鋼の安住の地



東北大学  
多元物質科学研究所  
教授 有山 達郎

鉄鋼会社から大学に移って7年になる。大学では数年  
に1回、高炉を中心とした鉄鋼プロセスの大学院生向け  
授業を担当しているが、時折、製鉄法の歴史の変遷を紹介  
する。現在に至るまでどのような技術発展があり、特に何  
故、それを遂げたのか、その背景、思想、インパクトを説  
明しなければ、現代技術の理解にも繋がらないし、先も見  
えない。始めるのはコークス高炉の誕生の前後あたりで欧  
州が中心となる。以下、その概要である。コークス高炉誕  
生前は木炭高炉で、その動力は水車であり、動力源確保と  
原料運搬から、製鉄所は川に近い所に立地していた。コー  
クス高炉、蒸気動力の出現によって、大量生産が可能にな  
り、石炭の産地により近いところを求める。当時は鉄鉱石  
よりも消費石炭の量がかかるに多く、産炭地が有利である  
からだ。欧州大陸では北フランス、あるいはドイツのルー  
ル地方となる。その後、トーマス転炉の発明によって高リ  
ン鉱石のミネット鉱が注目され、ドイツ、フランスの国境  
付近が好立地となる。今の製鉄所の基盤にもなっている。  
一方、それが資源戦争にも繋がり、二度の戦争の誘因とも  
なっている。20世紀以降、米国の登場で製鉄所が巨大化  
する。また、その間、産業資本が次々に生まれ、19世紀  
には Krupp、Thyssen が、20世紀初頭には US Steel が誕  
生している。そのしばらく後に、周知のように日本が都市  
近郊の臨海製鉄所を建設し、製鉄所の新しいモデルを作  
り、1960年代以降に一躍、世界のトップレベルになっ  
ている。資源を有しない日本は臨海接鉄所、大型船活用  
によって原料運搬の不利を克服した。

そこに至るまで、様々な新技術が生まれ、また鉄鋼製  
錬の基礎が形作られている。ベッセマー転炉以降の高温精  
錬は冶金熱力学を生み、ドイツでは化学の活用によって冶  
金反応論の基礎が形作られている。戦後、高炉においては、  
重油吹き込みと酸素富化の組み合わせによる複合送風、設  
備では大型化に伴ったステープ冷却、ムーバブルアーマー  
など様々なプロセス技術が生まれている。今では全く普通  
になったベルレス装入装置はルクセンブルグのPW社が  
数々の苦勞と失敗を繰り返して実用化した技術である。こ

れらの研究開発が、鉄鋼技術を進化させ、その地で企業  
経営を支えてきた。しかしながら、1980年代以降、主  
要な鉄鋼生産基地は欧州を離れ、欧州の鉄鋼企業は経営  
難に直面し、企業統合など経営的努力で生き残っている。  
日本は粗鋼生産量で1970年代に米国を追い抜き、20世  
紀末に中国に追い抜かれるまで、単一国ではトップに位  
置していた。その約30年間、日本は技術として何を鉄の  
歴史に残したのか、何を誕生させたのか考えなければなら  
ない。日本は鉄鋼生産に伴う消費エネルギー世界ミニ  
マムであると誇ることも多いが、それを構成するCDQ、  
炉頂圧発電、連鑄などの技術のルーツは欧州、あるいは  
旧ソ連である。まだ、時間は残されている、次世代を約  
束するオリジナルな技術を生み出す、これが我々の命題  
であるという結論で授業は終わりになる。

今、鉄を作る価値観が大きく変わろうとしている。量  
ではない。地球環境との整合はもちろん、省エネを支え  
る革新プロセス、社会を変える高機能製品、安全安心に  
繋がる高品質鉄製品など、今、求められている物、技術  
を生み出すことができる国は日本を措いてないであろう。  
鉄鋼生産は莫大な二酸化炭素排出を伴い、我が国では素  
材産業の時代は終焉したという声も聞く。しかし、質の  
高い研究陣、理解力に富む経営者など、日本の鉄鋼はス  
リムであるけれども健康体である。老いるには早い。課  
題に囲まれている我が国こそ、独創的な技術を生み出し、  
鉄鋼の安住の地になるのではないか。

なお、年に一回程度、学生も連れて欧州の学会に行く  
が、時間に余裕があれば、歴史の勉強に、鉄の故郷を感  
じさせる場所に連れていく。写真はドイツの Krupp の拠  
点であったエッセンと石炭の町、ゲルゼンキルフェンの  
中間の地にある炭鉱跡とコークス炉を見学時のものである。  
写真後方が石炭採掘杭である。この建物はワイマール  
時代のバウハウス建築様式であり、産業遺産として世界  
文化遺産になっている。かつて、ここは欧州最大の炭  
鉱であったが、今は観光地である。今のこの地には製鉄、  
炭鉱町のイメージはない。ゲルゼンキルフェンはサッ  
カーチーム「シャルケ」の本拠地として有名である。  
日本の製鉄所で使う「ご安全に」という言葉の語源  
は、昔、この炭鉱労働者が互いを励ますために交わ  
した「Glück auf」（ご無事で）であるが、今はサッカ  
ーチーム「シャルケ」の熱狂的応援団の合言葉だ。



平成 18 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

## 「吸着・浮上機能を付与した超大型・軽量多孔質セラミック定盤の開発」 の事業化への道

総務企画部 主席研究員 伊藤瑛二

### 1. はじめに

平成 18 年 12 月に株式会社ナノテム（以下ナノテム）が中心となって株式会社大菱計器製作所、長岡技術科学大学とともにスタートした戦略的基盤技術高度化支援事業（サポイン事業）「吸着・浮上機能を付与した超大型・軽量多孔質セラミック定盤の開発」は平成 21 年 11 月をもって終了した。

本事業の始まりから終了までの経緯は JRCM NEWS の 2007 年 2 月 No.244、2008 年 3 月 No.257、2010 年 1 月 No.279 にて逐次報告しているので参照された。

事業終了 3 年後、株式会社ナノテムでは本事業で培った技術をもとにいろいろな市場開拓への努力をして、新製品化し現在では年商数億円にのぼる事業に育てた。

JRCM では本事業で管理法人を務め、その後の製品化、事業化に至る経緯をサイドから見てきたので、(株) ナノテムの協力を得て、サポイン後の事業化への道をレポートする。

### 2. 事業の概要

平成 18 年 12 月～平成 21 年 11 月の 3 年間行った事業の概要を以下に示す。

本プロジェクトでは第 8 世代の液晶用マザーガラス G8(2,200 × 2,500mm) に対応した真空チャック式定盤のための大型多孔質セラミックスの焼成技術確立が最終目標であった。18 年度 G5 対応 (1,200 × 1,500mm) 19 年度 G6 対応 (1,550 × 1,850mm) 焼成に引き続き、最終年度には更に大きな G8 サイズの焼成技術を確立した。また最終的には多孔質セラミックスの機械物性値 (ヤング率) の向上 (150 から 200% UP) が実現した。

この間多孔質大型セラミックスの焼成技術をつかむまでは多くの失敗があり、工場裏にはクラックの入ったセラミックス焼成体が山積みされた。常に「これがベストの条件」と考えて焼成するが、取り出してみるとクラックが入っていて「ベストではなかった」と反省し、また「今度はベスト」の条件で焼成と失敗を繰り返した。国の委託事業でなかったらこれほどの失敗を続けられなかったら

う。そしてついに「こういうことか」という理屈をつかみ取った。こうして大型多孔質セラミックス焼成技術を確立できた。

最終的には開発したセラミックス焼成体を加工して石定盤と張り合わせることで、G8 サイズの真空チャック式セラミック定盤を作製することができた。

石定盤への溝加工は、被吸着物のサイズを考慮し、定盤を 3 つの領域に区分できるように工夫した。図 1 に 3 領域分けのパターン試験した様子を示す。本来であれば、真空引き領域であるが、写真で見せるには難しいので、多孔質セラミックスに水を含ませて、その後エアを供給して、領域を鮮明に表わしてみた。

図では、ガラス基板をターゲットとして、中央部分から同心状に徐々に吸着を進行させる目的で溝パターンを施している。

事業終了前から国内外の液晶用大型ガラス基板を扱う企業に開発定盤の評価を依頼していたが、国内並びに海外メーカーとも中国に生産ライン移転計画があり、その際にタイミングが合えば検討するとの回答を得ていたものの、結局、本事業期間内においてはユーザーテストが実施できなかった。

終了後は液晶メーカー等のユーザー評価を経て、実用化に結びつけるとともに、他の応用についても検討していく予定にしていた。実は最終年度で設備の購入計画を変更し、今後の事業化に必要なと思われる量産を想定しての基礎実験装置を導入していた。その研究も開始していた。



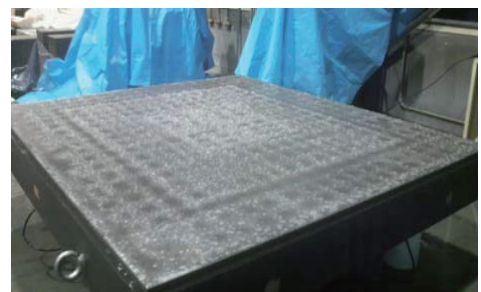
第1領域 (780×680mm)



第2領域 (1740×1440mm)



第3領域 (2500×2200mm)



全領域

図 1 多孔質セラミック定盤の 3 領域分けパターン

### 3. 事業化への展開

本研究開発のニーズは、開始当時と終了時では、若干のズレが生じている。特に、セラミックス定盤の大型化ニーズが太陽電池や液晶・プラズマ・有機 EL 等のフラットパネル業界において必要とするか否かが大きな問題である。個別にユーザーをヒアリングすると、「大型多孔質セラミックス定盤は将来的に必要な技術」という意見が聞かれるが、実際の動きとして、直ちに採用したいとの声は聞こえていないのが現状であった。フラットパネル市場が全体的に冷え込んでいるためともいうことから、開発は成功したが事業化は断念という結論になりがちだが、ナノテムは継続して市場調査を行い、様々な用途を探索していく道を選んだ。

本事業で培った知見・情報を生かす場合は、様々な業界から出てきている。従って、ただ単に大型・軽量定盤としてのニーズに対応するだけでなく、形状や機能を若干修正して、その他の幅広いニーズに対応していくことが必要と考えた。

終了時点ではすでに、大型・軽量セラミックス真空チャックに関して、市場の再確認、ニーズの再吸い上げが必須であり、商社や展示会を有効に活用し情報収集を行った。

新規ユーザー開拓のためにインターネットやフラットパネルディスプレイ展等の国際展示会に参加し、開発した新技術に関してアナウンスを行い、ユーザーへの提案を開始したのである。

平成 21 年 4 月に開催されたファインテック ジャパン 2009 にはナノテムも開発成果を出展した。(図 2) この時ナノテムが「大学発ベンチャー企業として多孔質セラミックスを開発」し、「大型基板用ポーラスチャックを実用化した」点が高く評価され、第 14 回アドバンスト ディスプレイ オブ ザ イヤー (A D Y 2009) 優秀賞を受賞している。

本研究開発で試作した超大型多孔質セラミックス真空チャックは、大型化目的で進んできた。液晶パネル製造装置に関しては、試作した真空チャックが有用で、2 社のテストを実施している。その中で、吸着だけの機能ではなく、浮上搬送の具体的なニーズも出てきた。

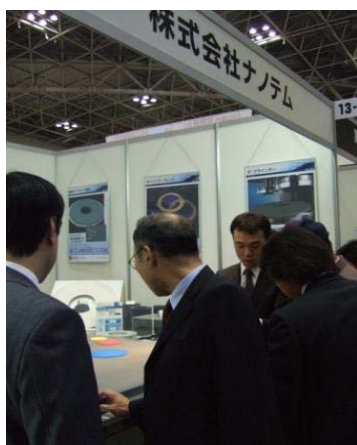


図 2 展示会風景

ユーザーテストのためのユーザーとのやり取りの中で、多孔質セラミックスの機能を有効に使うために、局所的な吸引力、面内の流量ばらつき等の品質管理・その方法を検討した。

追加ニーズは、①気孔径を可変できること、②基板サイズに依存せずに基板が吸着固定できること(図 1 のような間仕切り等をせずにも、どこに基板を置いても固定

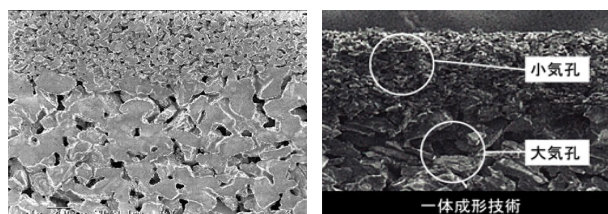


図 3 多孔質セラミックス断面図

できる)ことが要望されていることが分かった。

そして図 3 のように表面気孔径を制御できる技術を開発し、図 4 のように定盤上のどこでもどんな形状でも固着できるようにできた。



図 4 どこでも吸着

こうして、開発したセラミックス製造技術に更なる機能(どこでも吸着性)を付与したものを開発展開し始めて、開発した大型定盤そのものではないが、技術の延長線上に事業化の目処が立った。

### 4. 製品名エアロフィックスの誕生

FPD 製造装置関連は、国内の電気主要メーカーから、韓国・台湾そして中国へとシフトしてきている。液晶パネルの機材もガラスからフィルムへシフトが始まっている。特に韓国の動きはすさまじく、AMOLED を軸とした高精細・低電力タイプのパネルの生産がかなり増えてきている。マザーガラス・フィルムの薄肉化に伴い、均一吸着固定・精密浮上搬送技術の革新が常に求められている。

基材がガラスからフィルムへシフトすることで、薄肉化、易変形性に伴い、益々、本研究開発の成果を発揮する場が増えてきている。

従来型の真空チャックは、アルミニウムやステンレスの吸着面に溝、穴を設けワークを吸着する。しかし、これではワークが溝、穴にへこんでしまい、高精度の吸着は出来ない。そこで、サブミクロンから数百ミクロンまで気孔を調節できる多孔質セラミックスを開発した。微細な気孔から空気を吸出し、セラミックス表面に研磨物を貼り付けて作業できる、真空チャック、「エアロフィックス」(図 5、図 6) の誕生である。

エアロフィックスは、主に液晶パネルの製造工程に使われている。韓国の大手エレクトロニクスメーカーが大口ユーザーである。加工、プロセス、検査のいずれの工

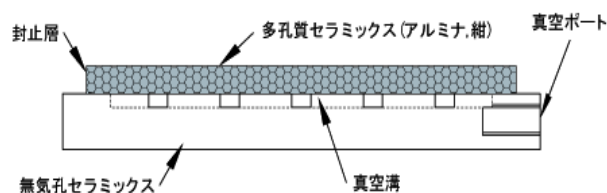


図 5 エアロフィックス構成図

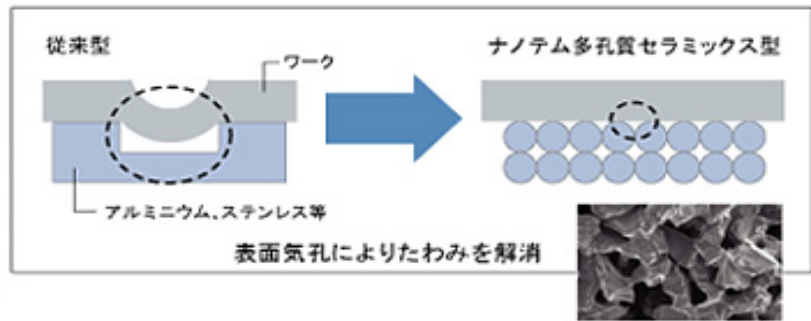


図6 従来の真空チャックからナノテムの真空チャックへ

程でも吸着盤が必要になる。液晶パネルは携帯電話、スマートフォンからテレビなどまでさまざまな機器に使われている上、機種によってもサイズが異なる。ナノテムの吸着盤は1台でどんなサイズにも対応でき、また、吸着盤のどこに置いて作業ができるので作業効率が大幅に向上する。

## 5. おわりに

サポイン終了後の事業化への道の例を(株)ナノテムを例に取材を通して以下のことが分かった。

### (1) 計画の変更

サポインは3年間の事業であり、その間に市場環境も変化するので、初期の目的がニーズに合わなくなるので、サポイン期間中も市場ニーズを把握して敏速に対応する必要がある。

ナノテムではスタート1年目から状況が変わり始めていることに気づいて、3年目には当初計画を変更して違う装置を導入している。この変更をしなかったら、あるいは1年遅れたら今のような立ち上げはなかったろう。

一方、管理人や委託側としては、事業内容や目的をいつまでも(事業が終わるまで)固執するのではなく、あくまでも事業化を主目的にフレキシブルな対応をしていくことが重要である。本事業も委託側の中小機構が変更を認めてくれなければそれで終わりであった。

### (2) 強烈な指導者の存在

ナノテムでは社長自らがプロジェクトリーダーとなって事業を推進した。失敗を繰り返しても続けることができたのは、指導者がその権限を持っていて、「できるまでやる」という信念を持っていたからと思う。担当者が失敗しながらも続けたくても上司がその気にならなければ続かない。

### (3) サポインの強みを生かす

失敗を繰り返すことができたのも、できるまでやると

いうことができたのも、国の委託事業の強みである。小さな会社が失敗を繰り返しながら、できるまでやれたのは国の資金が得られたからである。自費でやろうとしたらできなかったであろう。

### (4) 有望なユーザーの開拓

有望なユーザーを見つけだしたことも大きな要因である。市場開拓について高田社長は産学官ジャーナル2012年7月号で日本のメーカーの対応について以下のようにのべている。

「日本のメーカーは冒険をしません。いろいろな展示会において、日本のメーカーと韓国メーカーの反応は大きく異なります。日本のメーカーがまず求めるのは1～2個のサンプル。それでも社内の了承を取るのに相当の手順と時間がかかります。そしてテスト。結論が出るのに1年くらいかかってしまう。韓国メーカーの場合は、若い社員が展示会場で、「200～300個でいくら」「1週間以内に持ってきてほしい」といった調子です。自分で判断し、よいと思えば、それを社内で通します。・・確かに、導入して全とうまくいくかどうかは分からない。そうした成否が分からないときに、韓国メーカーはまずやってみる、日本のメーカーはやらない——」

今回のサポイン事業化の例を通して、サポイン参加の中小企業の優れた技術が韓国で使われていることの是非を問うよりも、日本の製造業における大企業病への警鐘である。

大型セラミックス定盤開発にはじまり、新製品「エアロフィックス」の市場化を通して高田社長はこうも述べている。「モノづくりで失敗はいっぱいしてきた。「できない」を「できる」ようにすることが我々の仕事だ。」ナノテムの長岡の工場の会議室に張られている行動指針の最後に「スピード感溢れる意思決定と実行力でお客様の期待に応える」と書かれている。

ナノテムの挑戦は今も続けられている。

## (独) 中小企業基盤整備機構からのお知らせ

### ■事業化達成のための支援スキームの紹介

サポインの研究開発成果を事業化するための支援のほか、新連携事業や専門家派遣事業など中小機構の他の支

援施策をご紹介します。お問い合わせは下記へ。  
経営基盤支援部 ものづくり・環境経営支援課  
東京都港区虎ノ門3-5-1 虎ノ門37森ビル  
TEL.03-5470-1523 FAX.03-3433-8867  
<http://www.smrj.go.jp/>

The Japan Research and Development Center for Metals

### JRCM NEWS / 第314号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM 総務企画部までお寄せください。  
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2012年12月1日

発行人 小紫正樹

発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター

〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11 東洋海事ビル6階

TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)