

## 特集記事・3

## 欧州鉄鋼業の現状と将来

製鋼プロセス技術開発の  
流れからみた日欧の比較

竹内秀次

Shuji Takeuchi

川崎製鉄(株) 技術研究所  
製鋼研究部門 部門長

Background and Trend of R&amp;D for Steelmaking Processes in Japan and European Countries

## 1 はじめに

欧州鉄鋼業の技術開発力を、国際的にみた技術開発レベルや研究開発体制から日本の状況も考慮に入れて論述するのが主題であるが、あまりにも広範囲にわたるため正確に評価することは困難である。そこで、製鉄技術の要であり、かつ筆者の専門分野である製鋼プロセスを中心に考えてみる。転炉・2次精錬・連続鋳造等の主要技術開発の歴史を概観し、欧州と日本との製鋼技術発展の役割に関し客観的に述べる。その中で、現在実施されている製鋼技術の多くが欧州にその源流が認められること、またプラントメーカーの果たした役割が大きいことを示し、日欧の比較を試みる。

## 2 主要製鋼技術の発展形態

製鉄プロセス、特に製鋼に関連する技術開発の歴史を技術の提案、実機化、発展と普及の点まで段階を追ってみた時、Fig. 1 に示す4つのパターンに類別できる。例えば、①のパターンでは、欧州にてその技術の提案がなされ、実機化までのプロセス開発がなされ、発展・普及した後に日本を含む全世界に拡大普及した技術である。製鋼技術で例

|   | 技術提案     | 実機化             | 発展・普及           | 製鉄・製鋼技術での例                             |
|---|----------|-----------------|-----------------|----------------------------------------|
| ① | 欧州       | 欧州              | 欧州              | 純酸素上吹き転炉、連続鋳造<br>VOD、DC電炉              |
| ② | 欧州       | 欧州              | 主に日本            | RH法<br>上底吹き転炉                          |
| ③ | 欧州       | 米国<br>米国<br>その他 | 米国<br>日本<br>その他 | 薄スラブ連続<br>底吹き転炉<br>COREX               |
| ④ | 米国<br>日本 | 米国<br>日本        | 米国<br>日本        | AOD、LF、MIDREX<br>溶銑予備処理、連続での<br>電磁気力利用 |

Fig. 1 製鋼プロセスの提案、発展、普及のパターン

を拾えば、純酸素上吹き転炉、VOD、直流電気炉などがある。

同図に示すように、主要な製鋼技術の流れはその源を欧州に遡る例が多い。しかし、ひとつの技術の発展の中で、その技術の新しい使い方を提案したり、新しい要素技術の導入や他技術分野のプロセスとの組み合わせにより、新しいニーズや従来とは異なる新局面に対応できるようにするなど、技術の転換点を創出した点に日本の製鋼技術者の役割を見いだすことができる。典型的な例のいくつかをFig. 2 に示す。

例えば、2次精錬プロセスの代表例であるRH脱ガス精錬法とその装置は、1938年にドイツのRuhrstahlとHeraeusが共同開発してその原型を提案し<sup>1)</sup>、現在では世界的に普及しているプロセスである。この装置の真空槽内に酸素ガスを導入し極低炭素鋼濃度域まで短時間に脱炭できるようにし(RH-OB法<sup>2)</sup>、KTB法<sup>3)</sup>)、かつ下工程のCAL(連続焼鈍工程)と組み合わせることにより、自動車外板用の極低炭素鋼を安価にかつ大量に生産できるようにした技術発展に対しては日本の役割が大きい。

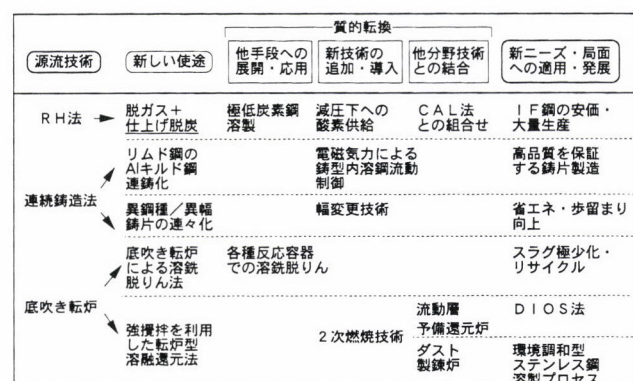


Fig. 2 製鋼プロセスの質的転換の例



## 欧州の技術開発の特徴

### 3.1 技術開発力の背景

現在の欧州鉄鋼業界は、ほぼひとつの国に一つの大きな製鉄会社が存在しているが、歴史的には各国内の多数の製鉄所、中規模サイズの製鉄所が併存しうる環境があった。ドイツを例として、製鉄会社の統廃合の歴史をFig. 3に示す。簡略化のために、細かな事象に関しては一部省略している。

1960年当時と1997年時点のイギリス、ドイツ、日本における全国粗鋼生産量と、各国のひとつひとつの鉄鋼会社の生産規模を半定量的にFig. 4に示した。イギリス、ドイツにおいては粗鋼生産量自体の変化は大きくないが、製鉄会社の数は激減していることがわかる。また、国境を越えての企業統合が行われており、非効率工場を廃止している。一方、日本においては製鉄会社の数は変化せず、各々の会社がその生産量を大幅に増加させている。

以上のように欧州においては、鉄鋼企業の経営も生産工

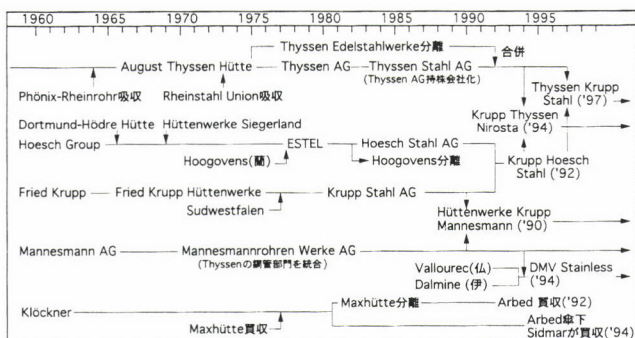


Fig. 3 ドイツにおける製鉄会社の統廃合の歴史

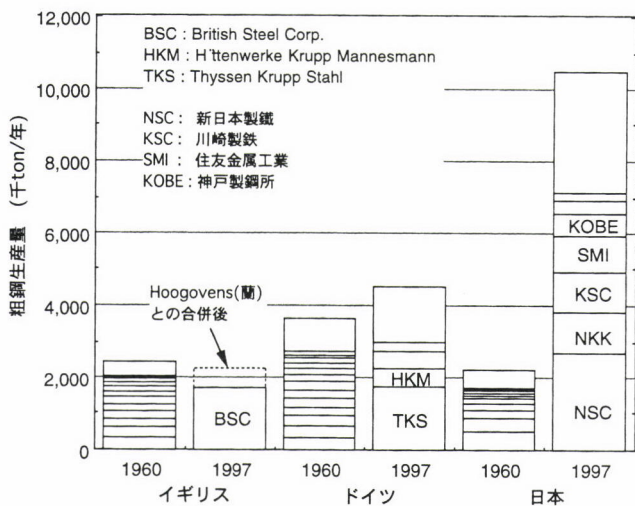


Fig. 4 イギリス、ドイツ、日本の全国粗鋼生産量と会社ごとの生産規模の変化

場の配置も自国内の既存配分に固定されず、欧州全体、さらには全世界を見ている。技術開発も同様に自国内の一工場にとどまらず、汎用的な技術を開発してきたことが特徴的である。

### 3.2 技術の誕生から成熟までの時間の比較

新しい技術が誕生してから、あるいはその技術を導入してから普及するまでの期間がどれほどであるのか、上吹き転炉から底吹き転炉、上底吹き転炉(複合転炉)への転換過程<sup>4)</sup>と連続 casting 法により casting される粗鋼比率(=連続 casting 比率)の推移<sup>5)</sup>を欧州と日本とで比較し、Figs. 5、6に示す。

我が国において、上吹き転炉の炉底から精錬用酸素ガス、あるいは攪拌用不活性ガスを供給する技術開発は1970年代の後半から各社で行われていた。しかし、1977年に川崎製鉄千葉製鉄所に導入された純酸素底吹き転炉(Q-BOP<sup>6)</sup>)の冶金的、経済的成功により一気に上底吹き転炉への転換が進んだ<sup>7)</sup>。Fig. 5には日本の2社についての上底吹き転炉への転換データを示したが、他の鉄鋼会社についても同時期にほぼ100%の転炉に底吹き機能が付与された。

一方、欧州ではベルギーのArbedとフランスのIRSIDとの共同研究開発によるLBE法が、やや先行して技術開発され実機使用の段階まで進んでいた。Fig. 5に示した欧州の3社においては、転炉への底吹きガス導入が比較的早く、例外的に日本と同等のスピードで高率まで到達した。しかし、現在、大型転炉であっても依然として上吹き転炉のままに操業している場合も多いと聞いている。本技術は転炉精錬分野で世界中で通用する「本流技術」であり、その有効性を把握してからの実機適用のスピードは日本においてかなり速いといえる。

連続 casting 法開発の歴史は、連铸技術史<sup>8)</sup>に詳しい。現在の振動 casting 型を有する鋼の連続 casting はドイツにおいて開発・実用化され、連続 casting 比率も当初はドイツが先行していた。

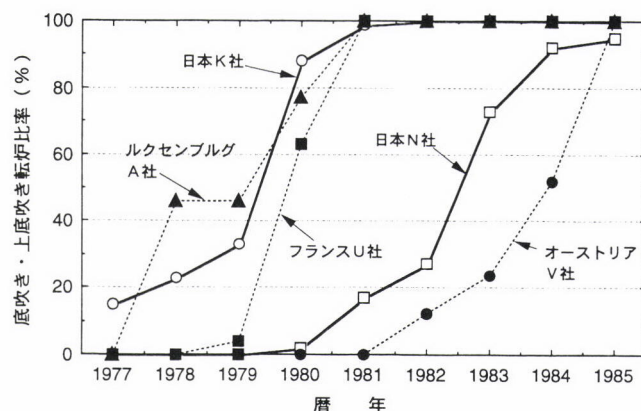


Fig. 5 底吹き転炉、上底吹き転炉への転換推移

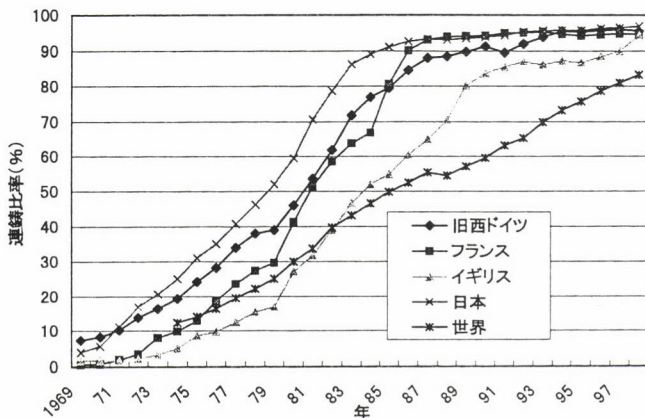


Fig. 6 連続鋳造比率の推移

しかし、日本の連続鋳造比率は1971年には早くもドイツを逆転し世界でトップを走ってきた。直近の10年をみると欧州、日本を問わず90%以上の高率ではほぼ飽和しているのは周知の通りである。

このように、新しい製鋼技術の実操業への適用には、欧州の方が先鞭を付けるものの、その成果が認められ使用率が拡大していくスピードは日本の方が速い。また、日本では、この技術導入と並行して、あるいは導入後に、前述したような質的転換を加えて新たな局面に展開してきた。

日本においては、製鉄会社の「技術を見る目」が優れており、それを早期に広く適用する技術力が特徴と言える。

### 3.3 製鉄会社と重工メーカーの関係の違い

製鋼プロセスの開発過程において、欧州と日本との決定的な違いは製鉄会社と重工メーカーとの関係であろう。欧州の主要製鉄プラントメーカーの事業展開の例をFig. 7 に示す。

VAI(Voest Alpine Industrieranlagenbau)は発祥が製鉄

会社の設備部門であり、1987年来オーストリアのVoest Alpine Stahl AG(持株会社)グループの製鉄プラントメーカーであった。1993年には同国のエンジニアリング企業が合同する形でVA Technologie AGを設立しその中核企業となっている。グループ内にLinz製鉄所(VA Stahl Linz)があるので現場設備での新技術の試験やデモができる優位性を持っている。

最近の技術開発は、新鉄源関連技術やNear Net Shape Casting法に集中しており、直接還元法のFinmet、Corex(開発担当のKorfエンジニアリングは傘下企業)、Comelt法、Near Net Shape Casting技術のConroll法やCoilcastのパイロットプラント実験を実施した経緯がある。

Mannesmann DemagはFig. 7にあるような変遷の後、グループ内ではHüttenwerke Krupp Mannesmann(KHM)として普通鋼製造も行うと同時に、新規な製鉄プロセス開発を行っている。電気炉でのEBT法(偏芯炉底出鋼法)、CONTIARC DC炉、CONARCハイブリッド炉などの開発、直接還元法のINMETCO法、Near Net Shape Casting技術としてのISP法を開発し、1999年にはCSP法(Compact Strip Production)を開発したSMS Schloeman Siemagを傘下にし、SMS Demag AGを設立している。

この二つの大きな重工メーカーに加え、スイスに本拠をおくABBグループやイタリアのダニエリなど、製鉄会社に新しい製鋼プロセスを提案し、自ら実証して販売しているメーカーの存在が大きい。上記の技術開発は単独で行う場合もあるが、国外も含め他社との共同開発も積極的に行っているのが特徴である。

最近の製鋼技術でこの傾向が顕著に見られるのは、Near Net Shape Casting技術(中厚スラブ、薄スラブ、ストリップ鋳造)の開発である。その開発経緯と実用化段階をFig. 8にまとめた。これらの中で特筆すべきは、CSP法<sup>9)</sup>の実用化

|                  | Voest Alpine Industrieranlagenbau : コアスタッフ<br>約 4,000人                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Mannesmann Demag Metallurgie : 従業員全世界<br>約 4,500人                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 会社の変遷            | 1945 Voest社の設備部 (Industrieranlagenbau)<br>1973 Voest Alpine社の設備部<br>(Voest/Alpine/Bohler社合併)<br>1987 Voest Alpine Stahl AG (持株会社化)<br>・ VA Stahl Linz ・ VA Stahl Donawitz<br>・ VAI (Voest Alpine Industrieranlagenbau)<br>1993 Voest Alpine Stahl AG<br>VA Technologie AG (奥のエンジニア企業が合同)<br>・ VAI (Voest Alpine Industrieranlagenbau)<br>・ VA Service<br>・ Deutsche VAI (旧 Korf Engineering)<br>・ その他<br>1996 独Fuchsグループ買収 | 前身はMannesmannrohrenwerke GmbH (鋼管)<br>1925 機械メーカーを傘下に<br>1929 Huckingenに製鉄、製鋼工場建設<br>1952 Mannesmann AG設立 (持株会社)<br>1974 Demagを傘下に<br>1979 Demag + 旧Mannesmann機械部門<br>→ Mannesmann Demag AG<br>(鋼管製造設備、鋳造設備、粉末冶金製造設備)<br>1982 + Sack社の圧延Plant部門<br>1999 SMS Schloemann Siemag<br>+ Mannesmann Demagの金属Plant部門<br>→ SMS Demag AG |
| 主な<br>技術開発<br>動向 | 新鉄源 : Finmet法、Corex法<br>電気炉 : CoMelt法<br>連続鋳造 : Conroll法、Coilcast法                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 新鉄源 : INMETCO法、RedSmelt法<br>電気炉 : CONTIARC DC炉、CONARC炉<br>連続鋳造 : ISP法                                                                                                                                                                                                                                                           |

Fig. 7 欧州の主要製鉄プラントメーカーの事業展開

| プロセス名 開発会社名                                                               | 1985                                   | 1990                                                                                                          | 1995                                                                                                | 2000                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CSP法 (Compact Strip Production)                                           | ◎モールド考案<br>▽パイロット実験開始<br>○米Nucor社1号機契約 | ▼米Nucor社(Crawfordsville)<br>▼米Nucor社(Hickmann)                                                                | ▼米Nucor社(Berkeley)<br>▼米Steel Dynamics<br>▼米Acme Steel<br>▼メキシコ Hylsa<br>▼加 Gallatin Steel<br>▼韓 韓宝 | ▼独 Thyssen Krupp<br>▼スペイン ACB<br>▼マレーシア Megasteel<br>(▼中国 珠江、包頭、邯鄲)<br>▼印 Ispat Industries<br>▼タイ Nakornthai Strip Mill |
| 会社名:<br>SMS Shloemann Siemag(独)                                           | ▼: 稼働年<br>(▼): 稼働予定年                   |                                                                                                               |                                                                                                     |                                                                                                                         |
| ISP法 (In-line Strip Production)                                           |                                        | ▽Mannesmannrohrenwerke Huckingen工場のスラブCCを改造し実験<br>・伊 Arvedi社と共同開発 (ArvediのスラブCCを改造し実験)<br>▼伊 Arvedi社(Cremona) | ▼韓 光陽<br>▼南ア Saldanha                                                                               | (▼蘭 Hoogovens)                                                                                                          |
| 会社名:<br>Mannesmann Demag Hüttentechnik (独)                                |                                        |                                                                                                               |                                                                                                     |                                                                                                                         |
| TSC法 (Thin Slab Continocaster)<br>↓<br>FTSR法 (Flexible Thin Slab Rolling) | ▽パイロット実験開始<br>▽伊 Udine社のパイロット実験開始      |                                                                                                               | ▼加 Algoma Steel社<br>(▼イラン NISCO)<br>(▼比 Jacinto Metals)                                             |                                                                                                                         |
| 会社名: Danieli (伊)                                                          |                                        |                                                                                                               |                                                                                                     |                                                                                                                         |
| QSP法 (Quality Strip Production)                                           |                                        | ▽日 中厚スラブ高速鋳造パイロット実験開始                                                                                         | ▼米 North Star BHP Steel<br>▼米 Trico Steel                                                           | ▼タイ Siam Strip Mill                                                                                                     |
| 会社名: 住金/住重(日)                                                             |                                        |                                                                                                               |                                                                                                     |                                                                                                                         |

Fig. 8 Near Net Shape Casting技術の開発経緯と実用化状況

までの開発スピード早さである。パイロットプラントでの開発実験の1年後にはNucorの1号機建設の契約を行い、その3年後には生産設備として稼働している。

開発当初、これまでのイメージを大きく変えたCSP法の鋳型を見た製鋼技術者はプロセスの成功を疑問視していたが、ねばり強い技術開発により現在では薄スラブ鋳造法のスタンダードとなっている。製鉄プラントメーカーが主体となったハード開発が実を結んだ好例といえる。

一方、Fig. 1 で見たように日本においては独自に開発された製鋼プロセスが少ないのに加え、その技術の提案は製鉄会社から発信されているのが欧州と異なる点である。下工程においては、CALのように製鉄会社とプラントメーカーとの共同開発によって世界にその技術が広まったプロセスもある。また、製鋼分野においては、転炉排ガスの湿式集塵・回収設備(新日鐵と川崎重工業の開発したOG設備)、連続鋳造鋳型内の溶鋼流動制御(川鉄とABBとの共同開発によるEMBR、FC-Moldもその一つ)などいくつかの共同開発成果は挙げられるが、いずれの場合も、開発主体は製鉄会社側にあったと言えよう。

## 4 今後の視点

欧州、とくにドイツ、オーストリアの製鋼プロセス技術開発の現況と同様に、日本においても今後の技術開発は自社内、自国内向けの開発にとどまらず、世界的視野での開発が望まれる。技術開発とその結果としてのプラント販売のフィールドは、アジアを中心とした世界中にあると言ってよい。また、このように世界中で適用可能なコンセプトの技術開発が最終的には生き残る技術となろう。そのため

には、世界的な視野に立ったニーズの掘り起こしと、開発の時間軸を中長期スパンで許容する技術開発の基本方針が必要となる。

今後の製鉄プロセス開発の視点としては、環境対策技術と省エネルギー関連技術が大きなウェイトを占めることは論を待たないであろう。後者に関しては、前述したNear Net Shape Casting技術や新鉄源製造技術が挙げられ、これらは全世界的にニーズの共通した技術である。これまでのように重工メーカーが主体となった共同開発により世界的拡大が進んでいくと思われる。Fig. 8 に見たように欧州重工メーカーによる開発、実用化が進んでいるが、日本の技術開発も新日鐵-三菱重工によるストリップ鋳造、住金-住友重機械による中厚スラブ鋳造(QSP法<sup>10)</sup>90mm厚み)が工程設備段階まで進んでいる。

一方、環境対策技術に関しては、製鉄所の地域性やニーズに応じて製鉄会社主導の技術開発になると予想される。例えば、ステンレス製鋼工場とリンクした含クロムダスト製錬炉(川鉄千葉 STARプロセス<sup>11)</sup>)、都市廃棄物の中の廃プラスチックに着目しこれを高炉の熱源として利用する技術<sup>12)</sup>(NKK京浜)などが既に日本において実用化されている。

環境対策技術と省エネルギー技術の両者に関連する課題としてCO<sub>2</sub>発生抑制がある。スクラップをベースとする製鉄法は、鉄鉱石をベースとする高炉-転炉ルートでの製鉄法に比べ原理的に1/3のCO<sub>2</sub>発生量で同じ粗鋼を生産できる。欧州においては、EUの共同開発案件としてスクラップリサイクルを目的とした共同研究<sup>13)</sup>が行われており、日本でも「新製鋼プロセスフォーラム」として国家プロジェクトが進行中である。スクラップ使用には地域性や、製鉄所

の立地条件があるため汎用的な製鉄プラントとして重工メーカー主導の技術開発にはなじまず、欧州、日本ともに製鉄会社主導の開発になっている。

## 5 おわりに

製鋼プロセスの技術開発を主体に、欧州と日本との比較に関して論じた。現在、世界で工程使用されている製鋼プロセスの多くが欧州にその源があり、日本はこの欧州発の技術を転換し、新しい局面に対応するよう発展させる役割を担ってきたと総括できる。また、欧州での技術開発には重工メーカー主導のものが多く、日本においては製鉄会社主導が主体である。今後の技術開発のキーワードである環境対策技術と省エネルギー技術においては、製鉄所の立地条件に依存して、技術開発の主体が重工メーカーか製鉄会社となるかが決定されるものと思われる。

本稿の執筆に当たっては、当社の山田純夫氏、現・川崎炉材(株)の反町健一氏との議論により骨子を組み上げた。また、本文中に使用した各種の図表は、川鉄テクノリサーチの安森 古氏の調査に拠るところが大きいことを付記し、感謝の意を示す。

### 参考文献

- 1) 鉄鋼製造法, 日本鉄鋼協会編, 第1分冊, 製鉄・製鋼, 丸善, (1972), 760.
- 2) 大久保静夫, 都築誠毅, 恵藤丈二, 桑原達朗, 小野沢昌男: 鉄と鋼, 59 (1973), S400.
- 3) H. Nishikawa, K. Kameyama, M. Aratani, Y. Kishimoto, R. Asaho and M. Ohnishi: Proc. 6<sup>th</sup> Intl. Iron and Steel Congress, Nagoya, 3 (1990), 143.
- 4) T. Shima: 同上, 1.
- 5) Iron & SteelmakerやIISIの公表資料などから作成
- 6) 中西恭二, 三本木貢治: 鉄と鋼, 65 (1979), 138.
- 7) 鉄と鋼, 日本鉄鋼協会, 転炉特集号, 複合吹錬(上下吹き)転炉の開発の経緯, 76 (1975), 1775.
- 8) わが国における鋼の連続铸造技術史, 日本鉄鋼協会編, (1996)
- 9) F. K. Iverson and K. Busse: Stahl u. Eisen, 111 (1991), 37.
- 10) 金沢 敬: 創形創質工学部会・社会鉄鋼工学部会シンポジウムテキスト, 日本鉄鋼協会, (1998), 10.
- 11) 長谷川伸二, 国分春生, 原 義明: 川崎製鉄技報, 25 (1997), 51.
- 12) 脇元一政, 藤井益弘, 山田 裕: 化学装置, 7 (1996), 74.
- 13) R. Boom and R. Steffen: Proc. 10<sup>th</sup> Japan-Germany Seminar, (1999), 71.

(1999年9月8日受付)