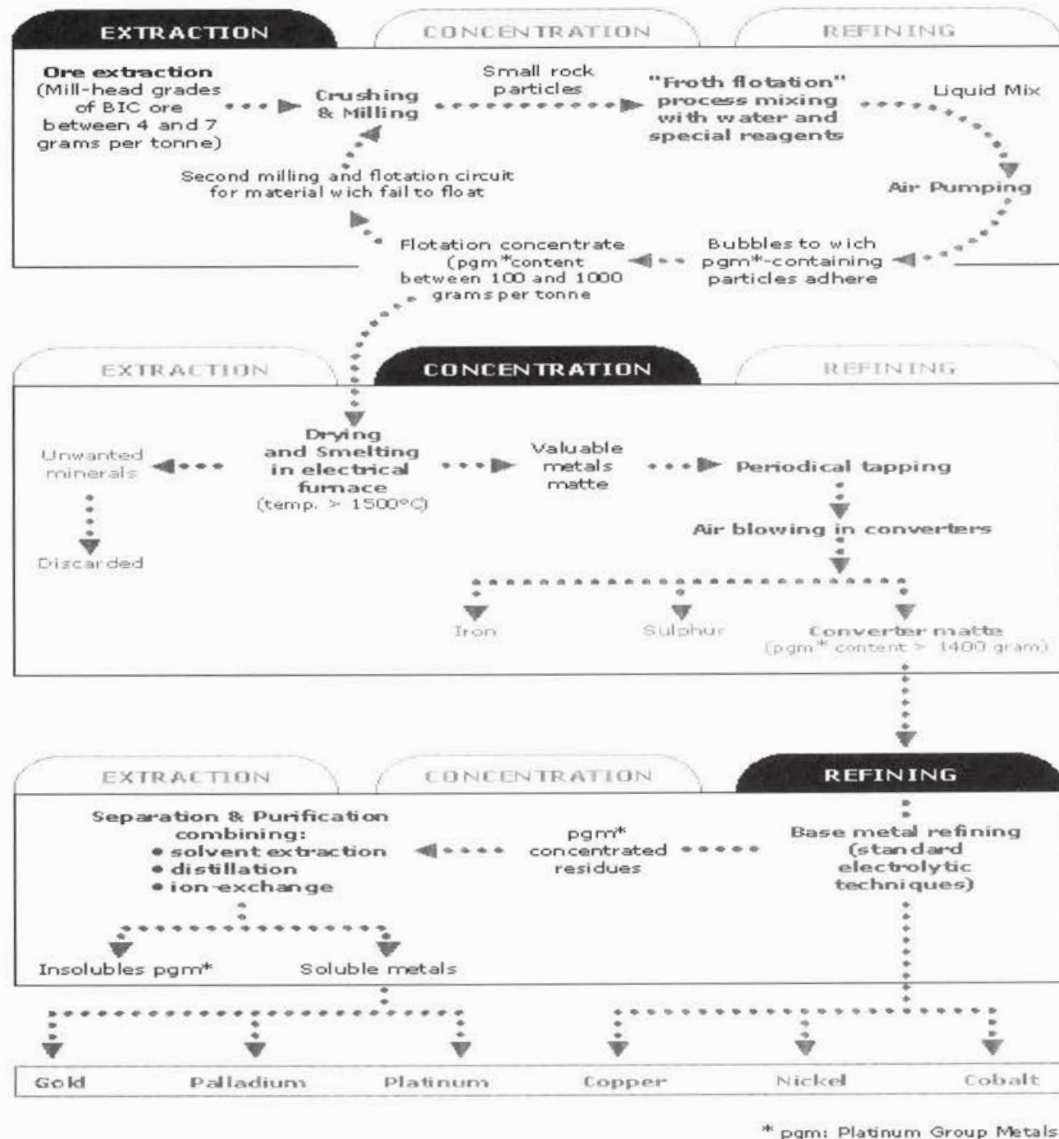


次田泰裕  
Yasuhiro Tsugita

図2 PGMの処理フロー<sup>1)</sup>

得られたマットは、更に転炉で製錬され、FeとSが除去される。

### 3.3 精製

PGMと共に有価金属として、Cu、Ni、Coなど卑金属を含有するマットは、湿式製錬法にて、卑金属と貴金属に分離され、貴金属が濃縮されたPGM精鉱残渣が、製造される。

PGM精鉱残渣は、溶解後、固液分離を行い、溶液は、溶媒抽出法、蒸留法、イオン交換法の組み合わせにより処理され、PGMが精製される。

## 4 プラチナ価格及び需要の動向

図3に、プラチナ価格の実際価格と公称価格を示す<sup>2)</sup>。20世紀における白金の価格は、戦争や石油危機などの異常時を

除けば、バラツキを考慮するとほぼ平均的な価格を示していると考えられる。

図4に、プラチナ需要量の動向を示す<sup>2)</sup>。1970年代に米国では、自動車排ガス用コンバーターに用いられるPGMの需

図3 プラチナ価格動向<sup>2)</sup>

要が本格的になり、1980年代には欧州でも同様な需要が増大している。プラチナの需要は、約3.5ton/yearのペースで、ほぼ直線的に増大していることが読み取れる。

## 5 資源メジャーの戦略と動向

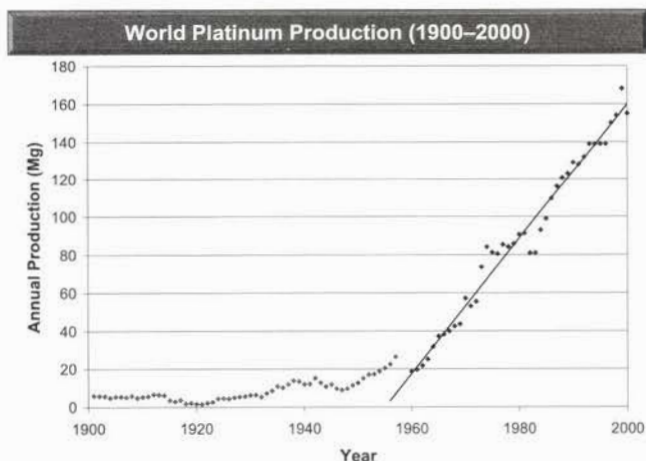
### 5.1 資源メジャーの戦略

資源開発事業には、資金と高度な技術力が必要である。国際資源メジャーは、事業の上流部門から下流部門、すなわち、探鉱、採掘、精製、販売の全てを握り、価格支配力を強化することを指向している。

金属・鉱物系資源メジャーは、豪州、米国、カナダ、英国に集中し、多鉱種を稼行するものから、銅などの特定鉱種のみを生産する専門的企業まで存在する。

### 5.2 資源メジャーの動向

表1に、資源メジャーの分類を示す。生産品目による分類



Data Sources: 1901-1957 Die Metallischen Rohstoffe Heinrich Quiring, pp 98-99.  
1963-1983 Mineral Facts and Problems, U.S. Bureau of Mines.  
1986-2000 Mineral Yearbook, U.S. Geological Survey.

図4 プラチナ需要動向<sup>2)</sup>

表1 資源メジャーの分類

| Country   | Major company | Mine | Smelter |
|-----------|---------------|------|---------|
| Britain   | BHP-Billiton  | ○    | ○       |
|           | Rio Tinto     | ○    | —       |
|           | AAplc         | ○    | ○       |
| USA       | Phelps Dodge  | ○    | ○       |
|           | Freeport      | ○    | —       |
| Australia | WMC           | ○    | ○       |
|           | MIM           | ○    | ○       |
| Canada    | TeckCominco   | ○    | ○       |
|           | Noranda       | ○    | ○       |
| Chile     | Codelco       | ○    | ○       |

ここで：○；鉱山所有、—；鉱山所有無し

では、多鉱種を稼行する企業には、BHP-Billiton、Rio Tinto、AAplcがあり、銅を中心とする企業はCodelco、Phelps Dodge、Freeportがある。さらに、TeckCominco、Noranda、WMC、MIMは銅・鉛・亜鉛などが共存する鉱床を稼行する。生産段階から分類すると、上流部門を中心とするRio Tinto等、垂直一貫生産を行うPhelps Dodge等に分けられる。

多角化の様態は、企業経営者の立場から見れば鉱種の多角化が望まれ、一方、投資家から見ればコアビジネスが明確な生産体制が、一般的に好まれると言われている。

英国大手は3社とも鉱種の多角化が進んでおり、一方、北米の会社は、それほど鉱種の多角化をしていない。BHP-Billitonが、垂直一貫生産のみならず、付加価値の高い事業の開拓を視野に入れている一方で、AAplcとRio Tintoは下流部門への進出に慎重な意見を持っている。BHP-Billitonは、鉄鉱石やマンガンは、これ以上寡占化が進まないと考えている。

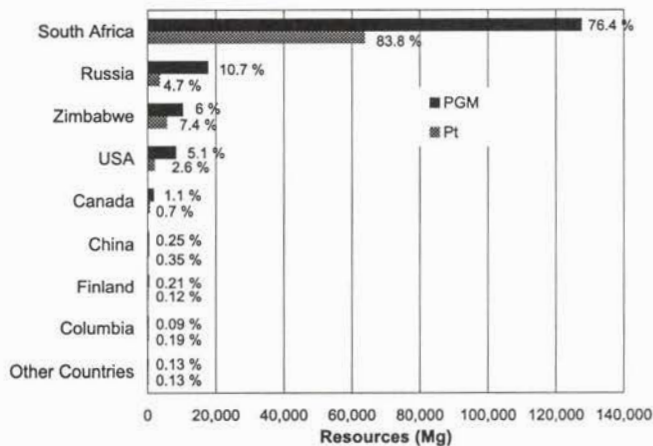
AAplcは、企業経営サイドから見れば3～6社による寡占化が、Rio Tintoは、投資者サイドからは企業の株式時価総額が500億米ドル以上必要であると、各々分析している。Rio Tintoは可能であれば、さらに規模を拡大することを望んでいるが、特にEUの独占禁止の制約があり、困難な状態であるとされる。

各資源メジャーとも、中国に対しては、世界の経済成長を牽引する役割を期待するなど、大きな関心を寄せている。一方、Rio Tinto等は、探鉱初期段階での直接関与はリスクが高いと分析している。特に、資源メジャーは、探鉱コスト低減を図るため、探鉱初期段階では、ジュニア、すなわち小規模な探査会社に大きな期待を寄せている。

リスク管理面では、AAplc、BHP-Billiton、Rio Tintoの英国大手3社は、鉱種の多角経営と広域的展開が進んでいるため、特段のマーケットリスク対応を行っていない。BHP-Billitonでは、リスク削減が投資家リターンを最大化できると考え、事前のリスク評価に積極的に取り組んでいる。AAplcは、ベースメタルの市況は、20年間で3回以上のサイクルを持ち、このサイクルの中で利益を上げるには、20年以上の規模で鉱床を開発する必要があると考えている。また、BHP-Billitonも山命20～30年規模を開発の目標としている。

図5は、国別のPGMの資源量を比較している<sup>2)</sup>。PGM資源は、極端に偏在し、南アには、世界の資源量のうちPGMとして76.4%、Ptでは、83.8%が存在すると推定されている。次いでロシア、ジンバブエ、米国、カナダと続く。

表2に、PGMの需要と供給および資源量を示す<sup>3)</sup>。各PGMの需給を見てみると、Ptは、155tonの供給に対して



Compiled from a variety of sources, including Cawthorn, Vermaak, Page, Mining Weekly, and Stribyn

図5 国別PGM資源量の比較<sup>2)</sup>

表2 PGMの需要と供給 (1999年)<sup>3)</sup>

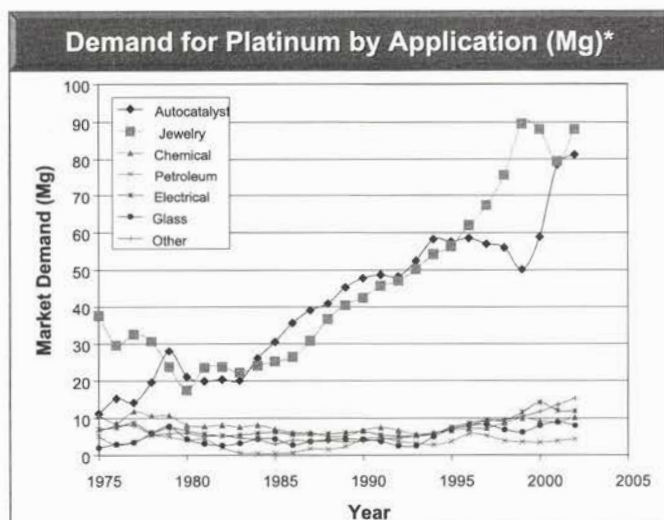
単位: ton

|                      | Pt         | Pd         | Rh        | Total PGM  | PGM reserves  |
|----------------------|------------|------------|-----------|------------|---------------|
| S. Africa            | 115        | 56         | 12        | 183        | 63,133        |
| Russia               | 28         | 149        | 7         | 183        | 6,189         |
| Canada               | 5          | 9          | 0         | 16         | 311           |
| USA                  | 2          | 8          | 0         | 12         | 715           |
| Others               | 4          | 3          | 0         | 6          | 715           |
| <b>Total Supply</b>  | <b>155</b> | <b>225</b> | <b>20</b> | <b>401</b> | <b>70,908</b> |
| <b>Total Demand</b>  | <b>162</b> | <b>232</b> | <b>14</b> | <b>407</b> |               |
| <b>SA % of world</b> | <b>74</b>  | <b>25</b>  | <b>60</b> | <b>46</b>  | <b>89</b>     |

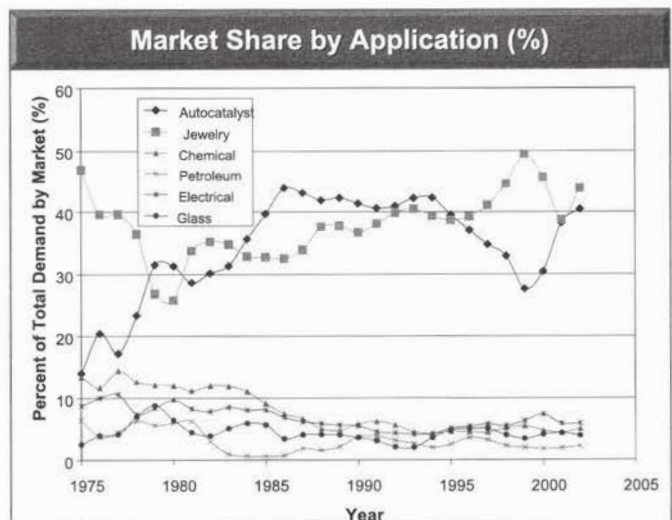
表3 PGMの生産状況 (1999年)<sup>3)</sup>

単位: ton

|                    | Pt | Pd | Rh | PGM |
|--------------------|----|----|----|-----|
| <b>Primary</b>     |    |    |    |     |
| Amplats, SA        | 58 | 29 | 6  | 92  |
| Implats, SA        | 33 | 17 | 3  | 53  |
| Lonmin, SA         | 20 | 9  | 3  | 31  |
| Stillwater         | 3  | 11 | 0  | 14  |
| Northam, SA        | 6  | 2  | 0  | 9   |
| Zimplats           | 2  | 2  | 0  | 4   |
| <b>by-products</b> |    |    |    |     |
| Norilsk            | 11 | 24 | 1  | 35  |
| Inco               | 4  | 5  | 0  | 10  |
| Falcon             | 2  | 3  | 0  | 4   |



Source: Johnson Matthey, Platinum 2001.



Source: Johnson Matthey, Platinum 2001.

図6 プラチナの用途別の需要量とシェア<sup>2)</sup>

それぞれのシェアは、40%である。需要量は、各々で、80tonずつで、計160tonである。

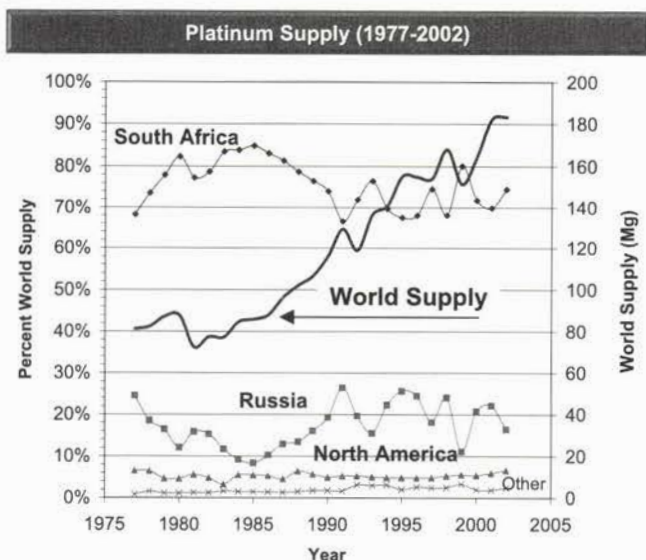
図7に、プラチナの供給量の時系列変化を国別に示す<sup>2)</sup>。供給量は、南アが、約75%であり、ロシアが20%程度であるが、ロシアの供給量の変動が大きい。原因は、PGMが、ニッケル製錬の副産物であることと今までのストックの放出などが考えられる。

図8に、プラチナの長期的な需要動向を示す<sup>2)</sup>。21世紀は、燃料電池の時代と予想され、20世紀における自動車排ガス用コンバーター向け白金族金属の需要の数倍と予想されている。

## 6 今後のPGM用途

### 6.1 燃料電池

燃料電池でのPGMの使用は、主に正極ならびに負極の触



Source: Johnson Matthey, Platinum 2003.

図7 プラチナの供給量の時系列変化<sup>2)</sup>

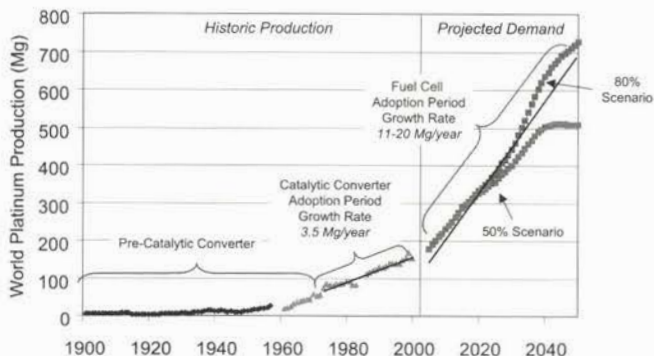


図8 プラチナの長期的な需要動向<sup>2)</sup>

媒が考えられる。あわせて、燃料の改質による水素の高純度化用のメンブランなども考えられる。

表4に、燃料電池用MEA (Membrane Electrode Assembly)に用いられるPGMとして、PtとRuの使用予測を示す<sup>2)</sup>。現状では、改質器を用いる場合でも、燃料電池自動車1台当たり225g使用しており、米国エネルギー省の目標では、15gとしている。

### 6.2 クラッド鋼

表5に、各種クラッド鋼を示す<sup>4)</sup>。構造鋼にTiを主体とし、添加剤としてPdやRuの白金族金属を添加した合金をクラッドした材料が、耐食性材料として海洋資源開発に使用されている。

## 7 日本の立場

### 7.1 資源エネルギーの安定的確保

日本としては、広く経済協力、技術協力等多面的な協力を行いつつ資源保有国との広範な友好関係を樹立することが、安定的な資源確保を図る上で必要であると考えられる。

### 7.2 日本の経済の安全確保

万一の事態に備えて経済的、社会的混乱を防ぐため、情報の収集・分析、備蓄の確保等の対応策も必要である。

### 7.3 省資源、省エネルギーの推進、代替エネルギー源の開発

自動車排ガス触媒や燃料電池の電極材料としてのPGMの需要が増大すると予想される。

PGMの鉱石の効率的な採鉱に加えて、PGMのリサイクルの重要性は、今後益々増大するだろう。

表4 燃料電池用MEA用のPtとRuの使用量予測<sup>2)</sup>

| MEA 貴金属<br>計算                      | 現状<br>改質器 | 将来<br>改質器 | 将来<br>水素 | DOE<br>Goals<br>改質器 |
|------------------------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|
| カソード<br>Pt 使用量, mg/cm <sup>2</sup> | 0.4       | 0.2       | 0.2      | 0.05                |
| アノード<br>Pt 使用量, mg/cm <sup>2</sup> | 0.4       | 0.1       | 0.1      | 0.025               |
| 電力密度, mW/cm <sup>2</sup>           | 248       | 400       | 600      | 320                 |
| グロス電力, kW                          | 56        | 53        | 53       | 56                  |
| カソード Pt, g                         | 90        | 26        | 18       | 8.8                 |
| アノード Pt, g                         | 90        | 13        | 8.8      | 4.4                 |
| アノード Ru, g                         | 45        | 6.6       | 0        | 2.2                 |
| スタック PGM, g                        | 225       | 46        | 27       | 15                  |

図9に、プラチナの一次需要量とリサイクルによる供給量の予測を示す<sup>2)</sup>。一次需要量は、2030年までほぼ直線的に増加し、その後燃料電池の普及の本格化で急増する。一方、リサイクルによる供給量は、2015年以降急激に増加し、2045年ごろには、一次需要量を超えると予測されている。

表6に、プラチナ資源メジャーの動向を示す<sup>5)</sup>。世界最大のPGM資源保有および生産国の南アにおける資源メジャーであるAmplats、Impala Platinum、Lonmin PlatinumおよびNortham Platinumの増産が、著しい。

## 8 おわりに

世界における資源メジャーの戦略と動向を示し、日本における鉄業界と非鉄業界の連携の必要性について私見を述べた。

基礎的な性質として、PGMとFe、Ni、Coは、鉱物や合金として安定した存在形態が知られているという事実からも

鉄と非鉄の技術的連携の重要性が、示唆される。

材料的には、構造体として大量の需要をまかなっている鉄

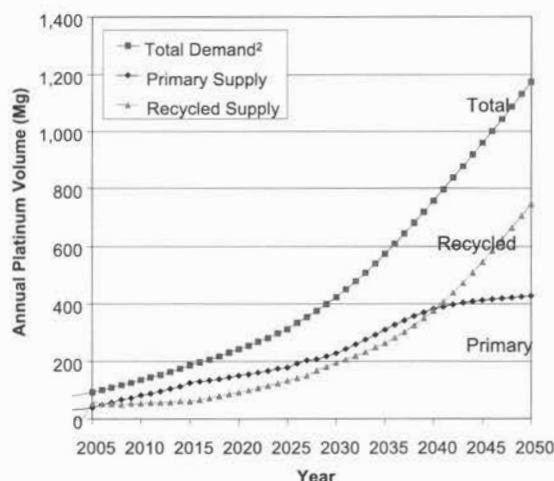


図9 プラチナの一次需要量とリサイクル供給量<sup>2)</sup>

表5 各種クラッド鋼<sup>4)</sup>

| Gr#<br>(*) | Basic Alloy<br>Components | Cladability<br>to Steel(**) | Cost<br>(***) | Features/Motivation for<br>Alloy(****) |
|------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|----------------------------------------|
| 1          | Ti (Chem. Pure)           | Direct                      | 1.0           | Low Cost, High ductility               |
| 2          | Ti (less pure)            | Interlayer                  | 1.5           | Low Cost, Medium Strength              |
| 3          | Ti (less pure)            | Interlayer                  | 1.6           | Low Cost, Higher Strength              |
| 5          | Ti+6AL+4V                 | Interlayer                  | 1.7           | Strong & Erosion Resistant             |
| 7          | Ti Gr2+0.15Pd             | Interlayer                  | 1.9           | Crevice Corrosion Resistance           |
| 11         | Ti Gr1+ 0.15Pd            | Direct                      | 1.4           | Crevice Corrosion Resistance           |
| 12         | Ti+.3Mo+.8Ni              | Interlayer                  | 1.6           | Strong and Erosion Resistant           |
| 16         | Ti Gr2 + .05Pd            | Interlayer                  | 1.7           | Crevice Corr. Resist. Lower \$         |
| 17         | Ti Gr1 + .05Pd            | Direct                      | 1.2           | Crevice Corr. Resist. Lower \$         |
| 27         | Ti Gr1 + .1Ru             | Direct                      | 1.1           | Crevice Corr. Resist. Lower \$         |
| NA         | Ti-45Nb                   | Direct                      | 2.3           | Excellent Ignition Resistance          |

Legend:  
 \* ASTM B265 Grade Designation  
 \*\* Readily explosion clad direct to steel, or interlayer recommended  
 \*\*\* Clad Metal Cost Ratio in comparison to Lowest Cost Alloy (Ti Gr 1/steel). Based upon 8mm thick titanium alloy clad onto 100mm thick steel.  
 \*\*\*\* When Alloy Composition shows "Ti Gr.# + addition", the alloy exhibits features of the base Grade plus the features listed for the higher grade.

表6 プラチナ資源メジャーの動向<sup>5)</sup>

単位 ton

|                      | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2010 | 2015 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| TOTAL ANGLO PLATINUM | 70   | 72   | 75   | 84   | 90   | 108  | 130  |
| TOTAL IMPLATS        | 41   | 44   | 46   | 52   | 61   | 70   | 68   |
| Lonplats             | 24   | 28   | 29   | 30   | 31   | 36   | 44   |
| Notham               | 5    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    |
| TOTAL SOUTH AFRICA   | 141  | 150  | 156  | 172  | 188  | 221  | 248  |
| TOTAL RUSSIA         | 30   | 33   | 25   | 25   | 26   | 26   | 26   |
| TOTAL NORTH AMERICA  | 12   | 9    | 13   | 13   | 13   | 13   | 13   |
| TOTAL ZIMBABWE       | 2    | 4    | 5    | 5    | 7    | 13   | 13   |
| TOTAL OTHER          | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    |
| TOTAL WORLD SUPPLY   | 186  | 198  | 202  | 218  | 237  | 277  | 304  |

鋼材料と少量ではあるが、触媒や添加剤の必須元素のPGMの役割を再考してみる価値がある。

持続的発展のためには、今後、一層の資源の有限性を認識した省資源、省エネルギーを進めることが必要である。

このためには、継続的な技術開発が必須であり、地球規模の問題解決においては、世界において技術面での先導的立場にある日本の鉄業界と非鉄業界の役割は、重要である。

#### 参考文献

- 1) International Platinum Association, [www.platinuminfo.net](http://www.platinuminfo.net)
- 2) TIAX: Precious Metal Availability and Cost Analysis

for PEMFC Commercialization, presented at 2003 DOE Hydrogen and Fuel Cells Merit Review Meeting.

- 3) RT Jones, Platinum smelting in South Africa, South African Journal of Science, end 1999.
- 4) J.G.BANKER: Hydrometallurgical Applications of Titanium Clad Steel, CLAD Metal Products Inc.
- 5) R.Hochreiter: Platinum producers, NEDCOR Securities.

(2004年10月28日受付)

## ブックレビュー

### 「特殊鋼の父 渡邊三郎 その生涯と日本特殊鋼」

矢島忠正 著

2005年1月 株式会社里文出版発行  
A5判 372頁 定価3,990円(消費税込)

渡邊三郎は明治13年群馬県に生まれ、東京帝大工学部卒業、古河鋳業所に4年勤務後、ドイツのアーヘン工科大学に3年間留学、学位をとる。その間に欧州各国の工場を廻り、とくにオーストリアのカッペンベルグ製鋼所に感銘を受け、特殊鋼への関心を深める。

帰国後、大正4年に大森に日本特殊鋼を設立する。石原米太郎、高妻俊秀らの人材と、当初はルツボ製鋼炉と鍛鋼設備による炭素工具鋼、高速度鋼の製造からはじめる。その後両大戦の間に、タービンプレード材、クランクシャフト材、兵器、航空機材など特殊鋼全般に広げ、最新鋭の電気炉、圧延設備を導入、羽田にも15万坪の工場を新設する。

渡邊氏は勉強家であり、大局的判断を誤らず、決断も早い、社交性にも富む優れた経営者であった。戦後は駐留軍の機器部品の需要などで繋いだりしている昭和26年に70歳で、社長のまま急逝する。特殊鋼業を日本に初めて起業した先達である。本著ではふれていないが、渡邊氏の最大の失政は後継者育成を怠ったことにあるように思われる。

著者矢島忠正氏は東北大学を卒業、昭和35年に入社されているが、氏の父上も同大学先輩の日本特殊鋼の技術者であり、親子二代にわたって日本の特殊鋼の技術発展に貢献されている。日本特殊鋼はその後大同製鋼と合併し、大同特殊鋼となる。いまや世界最大手の特殊鋼専業であり、その社名には渡邊氏が命名した特殊鋼が残されている。

矢島氏は渡邊氏に深い思い入れを持っている。それだけに、本著は群馬県松井田町の生家から、ドイツ、オーストリアはじめ欧州各地の渡邊氏の足跡を自ら訪ね、写真、地図等を丹念に収集して書かれている。また、渡邊家も書翰、日記、写真、地図、日本特殊鋼の財務、生産、技術データを提供され、内容を深めている。とくに目を引くのは渡邊氏の「工具鋼製造意見並びに目論見書」である。その結論は伴侶を亡くした悲愴を国家的事業で慰そうとの決意文であり、これをみて岳父渡邊福三郎は資本拠出を決断された由である。最後に渡邊氏の教育、学術部門への貢献と趣味の刀剣収集にふれている。

本著には渡邊三郎伝と日本特殊鋼の社史、日本の特殊鋼の技術史を兼ね備えた多面的な内容が十分な考証により巧みに整理されて、いくつかエピソードも交え、369ページに収められている。著者の見識、構想力、筆力に深甚の敬意を表し、紹介させていただく。

(元大同特殊鋼(株)副社長 山本修滋)