Activity of Zinc in Molten Cu-Zn-Fe Ternary System

by Supachai SURAPUNT¹ and Mitsuhsa HINO¹

1. Institute for Advanced Materials Processing, Tohoku University, Aoba-ku, Sendai 980-77

In order to obtain the fundamental information regarding a new zinc smelting process where zinc is extracted using molten copper as a solvent, the activity of zinc and two-phase region in the Cu-Zn-Fe ternary system were investigated by using the transportation method and the quenching technique respectively.

The two-phase of molten Cu-Zn alloy and solid iron determined in this study extends widely in the composition region below 70 at%Zn at 1,473 K in the Cu-Zn-Fe ternary system. The iron solubility in the Cu-Zn alloy exhibits constancy and is nearly 5.5 at% below 40 at%Zn in the molten alloy phase.

The relation between the excess partial molar free energy of zinc, ΔG_{Zn}^{xs} and $(1 - N_{Zn})^2$ on the constant composition ratio of $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu})$ in the homogeneous melt may be expressed by a line, even if the free energies were calculated from the activity measurements at various temperatures between 1,123 and 1,373 K. The activity coefficients of zinc, extrapolated by using the relationship between ΔG_{Zn}^{xs} and $(1 - N_{Zn})^2$, decrease with increasing iron content in the composition region below 60 at%Zn at 1,473 K. Above this composition range, the activity coefficient increases.

The large solubility of zinc in a molten copper phase is not expected for the new zinc smelting process, because the vapour pressure of zinc is very high even in the composition region of low zinc content in the Cu-Zn-Fe ternary system. Then, the extraction process would require large amount of molten copper to extract zinc from its sinter.

KEY WORDS : Activity, Vapour Pressure, Cu-Zn-Fe System, Transportation Method, Zinc Smelting, Warner Process

1. 緒 言

亜鉛製錬は、世界的には電解採取法が中心に行われているが、わが国においては電力が非常に高価であるために、経済的観点からコークス等の炭材を還元剤として用いる乾式製錬法が望まれる。しかしながら、ISP を初め、現行の乾式製錬法の多くは亜鉛硫化精鉱を酸化焙焼するために鉱石中の硫黄を製錬の熱源として用いることができず、経済的には効率的な製錬法とは言い難い。

亜鉛の新製錬法として、溶銅を媒体とする乾式製錬法が提案されている。板垣ら¹⁾は亜鉛焼鉱を炭素で還元し、溶銅で亜鉛を抽出する高圧還元融体採取法を提案している。また、亜鉛の硫化鉱を直接熔融製錬する Warner 法²⁾が提案され、プラントより規模の小さい実験ではあるが多くの試験結果が報告されている。同製錬法では亜鉛精鉱を Cu_2S 相に溶解し、減圧下の分離工程でマット相と共存する溶銅との相互反応により金属亜鉛を生成、揮発分離して金属亜鉛とする。これらの溶銅を用いるプロセスにおいて

は、熔融 Cu-Zn 合金を基本とする金属相が生成されることから、著者の一人³⁾は亜鉛製錬における不純物として関心のある金、銀、鉛の挙動を検討するための基礎データを得るために Cu-Zn-Ag, Cu-Zn-Au および Cu-Zn-Pb 系の活量を等圧法を用いて測定して報告した。

鉄はほとんどすべての非鉄金属の製錬に関係し、亜鉛製錬におけるスラグの構成成分の一つであり、溶銅を亜鉛の抽出媒体とする製錬においても鉄は主要成分の一つである。そこで一連の研究の一環として、本研究では Cu-Zn-Fe 3 元系溶融合合金中の亜鉛の活量を流動法を用いて測定した。

Cu-Zn-Fe 3 元系においては亜鉛の低濃度組成範囲で鉄を溶解する Cu-Zn 合金と固体鉄の 2 相が共存することは Fe-Cu 2 元系の状態図から十分予想される。特に、焼鉱の高圧還元融体採取法では還元度によっては精鉱中の鉄が溶解し、溶解度を越えた場合には Cu-Zn 溶融合合金と固体鉄が共存する恐れがあり、亜鉛の溶解、揮発の反応が効果的に進行しないことも予想される。また鉄の沈澱により溶銅がプロセス内を循環する上で障害となり、操業上のトラブルを起こす原因となることが十分に考えられることから、Cu-Zn 合金への鉄の溶解度を知ることが重要である。そこで本研究では Cu-Zn 融体と鉄の固溶体との相平衡関係を決める実験も 1,473 K で行った。

* 1995 年 1 月 11 日受付 2 月 27 日受理 資源・素材学会東北支部平成 6 年度秋季大会にて発表

1. 東北大学研究生 (金属学研究特別コース) 素材工学研究所

2. 正会員 工博 東北大学助教授 素材工学研究所

(著者連絡先) FAX 022-217-5211 (東北大・素材研)

キーワード : 活量, 蒸気圧, Cu-Zn-Fe 系, 流動法, 亜鉛製錬, Warner 法

2. 実験方法

2・1 急冷法 — 固・液共存範囲の決定 —

本研究では、鉄の固溶体と Cu-Zn 融体の 2 相共存範囲を決定するために急冷法を用いた。実験方法の詳細については著者の一人⁴⁾が別の実験で既に報告しているので、ここでは概略を述べるとどめる。

3 元系の液相と固体鉄の 2 相共存が予想される組成範囲になるように必要な純金属を用いて約 1.5 g の試料を秤量し、透明石英管に真空封入してアンプルとする。これを 1,473 K の電気炉に約 2 週間保持した後、水中に急冷し、両相を EPMA で分析する。液相は急冷することにより幾種類かの結晶を析出して凝固するために、EPMA にて点分析を行った場合には凝固相の正しい組成を得ることはできない。そこで本研究では凝固した結晶中の数カ所で 100 μm 以上にわたる線分析、および約 3,000 μm^2 の面分析を EPMA で行い、各点における分析結果がほぼ同一組成を示すことを確認し、その平均組成を液相の組成とした。一方、試料作製の時に直径が 2~3 mm の塊状の鉄を用いているが、2 週間後においてもその中心まで均一の固溶体となっていない。そこで、固相に関しては鉄粒子を表面から中心に向けて EPMA で線分析を行い、粒子の表面に近い部分で一定の組成が得られ、さらに液相中に析出している微粒子状の固溶体の分析結果と一致することを確認して鉄の固溶体の組成とした。

2・2 流動法 — 亜鉛の蒸気圧測定法 —

Cu-Zn-Fe 3 元系において、銅、鉄の蒸気圧は非常に小さく、亜鉛に比較して無視できる。そこで本研究では、亜鉛の蒸気圧を測定する方法として流動法を採用した。本研究で用いた流動法の装置は著者ら⁵⁾の以前の報告で用いたものとほぼ同じである。

流動法は、試料から揮発する蒸気、本研究の場合は亜鉛蒸気を不活性流動ガスに飽和させ、コンデンサに導いて冷却、蒸気を凝縮させる。亜鉛蒸気の凝縮量と、使用した流動ガスの量から亜鉛の蒸気圧を計算し、各測定温度における亜鉛の量を導出した。本研究では、流動ガスとして精製したアルゴンガスを用いた。3 元系合金の試料作製には、合金を構成する各成分の純金属を秤量して用いた。それ故、合金試料の作製時に亜鉛が蒸発して合金組成が調合組成から変化する恐れがあり、これを防ぐために合金試料を透明石英管に真空封入して、調合組成の融点より約 100 K 高い温度で溶解した。この試料はさらに数ミリ程度の粒状に粉碎して混合し、組成を均一にするようにしてから、蒸気圧測定用の試料ポートに入れた。

高亜鉛組成範囲では、亜鉛の蒸気圧が比較的高くなるために、蒸気圧測定中の亜鉛の蒸発量が多く、3 元系合金の組成が変化する。そこで、測定前後の試料の重量変化から、蒸気圧測定中の組成変化を計算し、その平均組成を蒸気圧測定を行った試料の組成とした。

3. 測定結果

3・1 固・液共存範囲

石英アンプル中に真空封入した試料を、実験温度の 1,473 K から水中に急冷して得た鉄の固溶体および融体の 2 相の組成を白丸で、また平衡している両相を結ぶ共軛線を Fig. 1 に示す。

本実験法による実験精度を確かめるために、Cu-Fe 2 元系の 1,473 K における 2 相共存範囲を決定する実験を行い、液相線、および固相線の組成として、Fig. 1 に示すようにそれぞれ 5.3, 90.3 at%Fe を得た。Massalski ら⁶⁾によれば、これらの組成は 5.3 および 91.0 at%Fe であり、本実験では非常に良く一致する

Fig. 1 Phase relation and tie lines between liquid and solid iron phases in the Cu-Zn-Fe ternary system at 1,473 K. ● denotes the composition of liquid phase determined from the slag-alloy equilibrium experiment⁷⁾.

結果を得た。それ故、本実験で用いた急冷法で平衡する両相の組成を精度良く確立することが可能である。

著者の一人⁷⁾は別の実験で、鉄るつばを用いて Cu-Zn 合金とスラグ間の相平衡に関する研究を行っている。この実験では、固溶体に相当する鉄るつばを分析しなかったために固溶体の組成を決めることはできないが、Cu-Zn 合金への鉄の溶解度を知ることができる。同実験により 1,473 K で得た融体組成を Fig. 1 に黒丸で示した。Cu-Zn 融体への鉄の溶解度に関するこれら 2 種類の実験でよく一致する結果を得たことから、鉄の溶解度は、融体中の亜鉛が 40 at% 以下の実験組成範囲ではほとんど変化せず、ほぼ 5.5 at% であることが明らかとなった。

固体鉄と平衡する液相の組成が 40 at%Zn 以上の組成では実験温度における亜鉛の平衡蒸気圧が高くなる。試料を封入したアンプルを水中に急冷した時に、気相が急速に冷却されるのに対して液相の冷却速度が遅い。このため、両相間の蒸気圧に大きな差が生じて融体相が沸騰状態になり、亜鉛がガス相に分離する。この結果、固溶体と平衡する液相を得ることができず、2 相間の平衡関係を知ることはできなかった。しかしながら、Fe-Zn 2 元系の状態図によれば、固体鉄と融体間の相互溶解度は Cu-Fe 系に比較的大きいことから 2 相分離範囲は破線で示すように Fe-Zn 2 元系に近づくに従い狭くなることが予想される。溶銅を媒体とする製錬では、鉱石から鉄が溶解するが、約 5.5 % で鉄が飽和状態となることから、亜鉛が溶解する融体の組成範囲が比較的狭い製錬法であり、金属亜鉛を得るために還元状態で製錬を行う場合には鉄の活量に注意する必要がある。

3・2 亜鉛の蒸気圧

流動法による蒸気圧の測定では、流動ガスが試料蒸気で飽和することが求められる。そこで、本研究では同一試料に対して同一温度で流動ガスの単位時間当たりの流量を変えて 3~4 回の蒸気圧測定を行った。3 元系合金の鉄-銅比を $N_{\text{Fe}}/(N_{\text{Fe}} + N_{\text{Cu}})$ で表わし、この値が 0.04 の組成線上で亜鉛蒸気圧が比較的低い試料についての例を Fig. 2 に示す。図に示した試料では、流動ガスの単位時間当たりの流量が変化しても亜鉛の蒸気圧が一定であり、流動ガスが亜鉛蒸気で飽和していることが分かる。しかしながら 3 元系合金中の亜鉛濃度が 50 at% 以上の組成範囲、あるいは測定温度が高くなって亜鉛の平衡蒸気圧が約 5×10^4 Pa を超える場合には、測定時間を短くして試料からの亜鉛の蒸発量を極

Fig. 2 Vapour pressure of zinc as a function of carrier gas flow rate along to the line of $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu}) = 0.04$ in the Cu-Zn-Fe system.

力少なくしても、測定中に合金組成の変化が認められた。この場合、同一試料の蒸気圧を同一温度で測定しても組成が変化するために測定ごとに亜鉛の蒸気圧が変化して Fig. 2 に示すような蒸気圧が一定となる流量範囲を見出すことができない。そこで、このような実験条件では Fig. 2 に示した測定可能範囲の平均的流量である約 $1.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ のガス流量で蒸気圧の測定を行った。

3・3 Cu-Zn 2 元系の亜鉛の活量

本研究では、最初に Cu-Zn-Fe 3 元系を構成する基本系の一つである Cu-Zn 2 元系の亜鉛の活量を測定し、これまでの報告値と比較することにより本実験で用いる流動法の装置で亜鉛の蒸気圧を測定する妥当性を調べることを目的の一つとして、1,173~1,350 K の温度範囲で実験を行った。本研究では活量測定を亜鉛の沸点以上の温度でも行っている。このような場合には加圧した液体亜鉛を仮定して活量の基準としたので、本研究で得られる亜鉛の活量はすべて液体基準である。

Cu-Zn 2 元系において、全組成範囲で均一融体となる銅の融点以上の温度では 2 元系の高亜鉛組成範囲で亜鉛の蒸気圧が非常に高くなるために活量を測定することはできなかった。そこで合金中の亜鉛の割合が増加して亜鉛の蒸気圧が高くなるに従い、測定温度を低くして活量測定を行った。種々の温度での活量測定の結果から亜鉛の過剰混合部分モル自由エネルギー、 ΔG_{Zn}^{xs} を計算し、 $(1 - N_{Zn})^2$ との関係プロットしたところ Fig. 3 に示す結果を得た。すなわち、温度が異なっても ΔG_{Zn}^{xs} と $(1 - N_{Zn})^2$ との間には原点を通る一本の直線で表わすことができる次式の関係が得られた。

$$RT \ln \gamma_{Zn} / J = -27300 (1 - N_{Zn})^2$$

すなわち、Cu-Zn 2 元系は正則溶液的挙動を示す。

本 2 元系の活量に関しては比較的多くの報告が見られるが、Everett et al.⁸⁾、阿座上ら⁹⁾ は同様の直線関係を報告しており、本研究では Fig. 3 に示すように阿座上らの報告と非常によく一致する結果が得られた。

3・4 Cu-Zn-Fe 3 元系の亜鉛の活量

Cu-Zn-Fe 3 元系合金中の $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu})$ の値が 0 に相当する Cu-Zn 系のほかに、1,473 K で均一融体となる 0.04 および、低亜鉛濃度側で固・液 2 相共存となる 0.1 および 0.2 の組成線上において、亜鉛の活量を測定した。いずれの組成線上においても、亜鉛含有量の少ない Cu-Fe 側では亜鉛の活量を 1,300 K 以上の高温で測定することができたが、亜鉛の割合が多くなるに従い、亜鉛の蒸気圧が高くなるために、Cu-Zn 2 元系の場合と同様に温度を下げて実験を行った。しかしながら Fig. 1 に示した固・液

Fig. 3 Relation between $RT \ln \gamma_{Zn}$ and $(1 - N_{Zn})^2$ in the Cu-Zn binary system.

共存範囲に関する実験結果から明らかなように、Cu-Zn 2 元系に鉄を添加すると液相線温度が高くなる。例えば Cu-Zn 2 元系の 20 at% Zn で 1,273 K の液相線温度が、約 5.5 at% の鉄の溶解で 1,473 K まで上昇する。それ故、亜鉛の蒸気圧が高いために、より低温での蒸気圧測定を試みてもしばしば液相線温度以下となり、試料は 2 相に分離する。本研究では 1,473 K における 2 相間の相平衡関係を決定している。しかしながら蒸気圧測定を行った 1,473 K より低い温度では 2 相間の平衡関係が不明であるために、両相の組成を知ることができず、2 相共存範囲での蒸気圧測定を行っても活量と組成との関係が得られないことになる。それ故、本 3 元系においては 2 相分離を生じる温度より高温の均一融体範囲で蒸気圧測定を行う必要があり、測定温度を任意に低くすることはできなかった。

Cu-Zn-Fe 3 元系の $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu}) = 0.04$ の組成線において種々の温度で測定した亜鉛の活量を Fig. 4 に示す。溶銅を溶媒とする新製錬法を検討するために有用な温度である 1,300 K 以上において活量測定が可能であった組成範囲は、40 at% Zn 以下に限られた。また 70 at% Zn 付近の組成では、亜鉛の蒸気圧が高くなるために 1,150 K 付近が測定可能な最高温度であった。一方、これより低温での活量測定を試みたが、試料中に固相と液相の 2 相共存が認められ、これ以下の温度での測定はできなかった。

Fig. 4 Activities of Zinc in the Cu-Zn-Fe ternary system on the composition line of $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu}) = 0.04$ in the temperature range of 1,123 to 1,373 K.

1,123~1,373 K の約 150 K の温度範囲で得られた亜鉛の活量は、図に示すように、Raoult 則から負に偏倚する。しかしながら、活量値の温度による明瞭な変化は認められなかった。

本研究では、溶銅を溶媒とする亜鉛の新製錬法に関する基礎的

Fig. 5 Relation between $RT \ln \gamma_{Zn}$ and $(1 - N_{Zn})^2$ in the Cu-Zn-Fe ternary system with $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu}) = 0.04$.

Fig. 6 Relation between $RT \ln \gamma_{Zn}$ and $(1 - N_{Zn})^2$ in the Cu-Zn-Fe ternary system with $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu}) = 0.1$.

Fig. 7 Relation between $RT \ln \gamma_{Zn}$ and $(1 - N_{Zn})^2$ in the Cu-Zn-Fe ternary system with $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu}) = 0.2$.

データを得ることを目的の一つとしており、新製錬法のプロセスを解析するためには 1,300 K 以上の一定温度における等活量線を得ることが望ましい。しかし、既に記したように、組成により測定温度が異なり、均一融体組成範囲における一定温度での等活量線を実験結果から直接求めることはできなかった。そこで、高温への活量の外挿を試みるために、Cu-Zn 2 元系の場合と同様に、亜鉛の過剰部分モル自由エネルギーを求め、 $(1 - N_{Zn})^2$ に対してプロットし、その結果を $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu})$ の値が 0.04 の組成線について Fig. 5 に、また 0.1 および 0.2 の組成線での同様の関係をそれぞれ Fig. 6 および 7 に示した。

0.04 の組成線上では、ばらつきがあるが種々の温度での測定であるにもかかわらず、 ΔG_{Zn}^{xs} は原点を通る直線で示することができる。Fig. 1 の 2 相共存範囲に関する実験結果からも明らかにように、3 元系において鉄の割合が増加するに従い、均一相範囲が高亜鉛側に狭くなるために、活量を測定することができる均一融体の組成範囲が狭くなる。本研究では $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu})$ が 0.2 以上となる組成での均一融体における活量測定を試みたが、この組成範囲での液相線温度が高く、亜鉛の蒸気圧が高くなるために測定することができなかった。また鉄-銅比が 0.1, 0.2 の組成線上で活量を測定した範囲内においては ΔG_{Zn}^{xs} と $(1 - N_{Zn})^2$ の間の関係は一本の線ではあるものの、直線で表わすことができなくなり、また鉄の割合が増加すると ΔG_{Zn}^{xs} の値が負へ大きくなる傾向が認められた。

Cu-Zn 2 元系、および Cu-Zn-Fe 3 元系の ΔG_{Zn}^{xs} と $(1 - N_{Zn})^2$ との関係から、測定した活量値を任意の温度に外挿することが可能であり、大幅な外挿でなければ、比較的精度良く活量値を求めることが可能である。そこで本 3 元系の活量測定値を 1,473 K に外挿し、その結果を等活量線として同一温度における相平衡関係とともに Fig. 8 に示した。

Cu-Zn-Fe 3 元系における活量測定は、鉄の割合が非常に少ない狭い組成範囲でのみ行われたが、Tomita *et al.*⁽¹⁰⁾ による 1,073 K 以下の温度で報告されている Fe-Zn 2 元系の活量を参考にして等活量線を決めた。Cu-Zn 系の活量が Raoult 則から負に偏倚するのに対し Fe-Zn 系では均一融体での亜鉛の活量が大きく正に偏倚しており、Cu-Zn 2 元系に鉄を添加した Cu-Zn-Fe 3 元系においては、低亜鉛側で鉄の割合の増加とともに亜鉛の活量係数は小さくなる。しかしながら、亜鉛濃度が増加するに従い活量係数の変化は小さくなり、高亜鉛側では反対に増加する傾向が予想され、組成により亜鉛の活量に及ぼす鉄の影響が異なることが

Fig. 8 Isoactivity curves of zinc in the Cu-Zn-Fe ternary system at 1,473 K.

Fig. 9 Isobars of zinc over the Cu-Zn-Fe ternary alloy at 1,473 K.

明らかとなった。

3・5 Cu-Zn-Fe 系の亜鉛蒸気圧

溶銅を媒体として用いる亜鉛の乾式製錬法では、金属銅に溶解している亜鉛を減圧下で揮発、分離する工程がある。それ故、亜鉛の蒸気圧は、亜鉛の収率に関する重要な基本データを提供する。Fig. 5~7 に示した 3 元系の活量係数の挙動から、いずれの温度でも亜鉛の蒸気圧を計算することが可能であるが、ここでは等活量線を求めた 1,473 K における亜鉛の蒸気圧を導出し、その結果を等蒸気圧線として Fig. 9 に示した。溶銅から揮発によって亜鉛を分離することができる限度を 1×10^{-3} atm と仮定すれば、その組成は蒸気圧の計算結果より約 1.5 at% Zn (1.5 mass%) であり、亜鉛を効果的に銅から分離することが可能である。一方、銅中の亜鉛が 10 at% で約 0.1 atm の蒸気圧を示す。そのため銅が亜鉛を溶解する工程では、溶錬が大気圧下で行われる場合には 10 at% Zn でも蒸気圧が高くなって溶銅から亜鉛が蒸発するために、この組成まで亜鉛を溶解することは困難となり、銅相に溶解することが可能な亜鉛量が非常に小さいものと推察される。それ故、プロセスを蒸気圧についてだけで検討する場合には溶解する亜鉛の数十倍の銅が必要であり、鉱石処理のように大量の亜鉛を製錬する場合には非常に大量の溶銅を必要とする。著者ら¹¹⁾は物質および熱収支計算により、溶銅を媒体として用いる亜鉛製錬法ではプロセス内で大量の銅を循環させる必要があることを明らかにしているが、この蒸気圧の計算結果からもそれを推定することができる。しかしながら、亜鉛の溶解工程において加圧するプ

ロセスを用いれば、溶銅中に溶解する亜鉛を増加させることが期待できる。これを揮発、分離工程で減圧処理すれば、溶銅中の亜鉛を 1~2 % 程度まで分離することが可能であると推察され、より効果的に亜鉛の製錬を行い、製錬工程内を循環させる溶銅の量を少なくできるものと考えられる。

4. 結 論

亜鉛の乾式製錬法として提案されている溶銅を媒体として用いる方法における溶銅への亜鉛の溶解、および金属亜鉛の揮発工程を解析するための基本として Cu-Zn-Fe 3 元系の活量を流動法で、また Cu-Zn 合金への鉄の溶解度を急冷法で測定し、次のような結果を得た。

1. Cu-Zn 合金が 40 at% Zn 以下となる組成範囲では、鉄の溶解度が約 5.5 at% であり、銅を溶媒とする製錬プロセスでは銅相への鉄の溶解は小さいことが予想される。

2. 3 元系の $N_{Fe}/(N_{Fe} + N_{Cu})$ が 0.2 より鉄の少ない均一融体範囲、1,123~1,373 K の温度範囲では、鉄と銅の割合が一定の組成線上で ΔG_{Zn}^{ss} と $(1 - N_{Zn})^2$ の関係は一本の線で表わすことができる。

3. 亜鉛の活量係数は、低亜鉛組成側では鉄の割合の増加とともに小さくなるが、高亜鉛側では反対に増大する傾向が予想される。

4. 3 元系における亜鉛の蒸気圧は溶銅を用いる乾式製錬法の操業温度では非常に大きく、大気圧の下で亜鉛を溶解する場合、大量の銅を揮発工程に循環する必要があるものと推察される。

謝辞 本研究を行うに当たり終始有益な助言を頂いた、東北大学素材工学研究所 板垣乙未生教授に謝意を表する。

引 用 文 献

- 1) 板垣・矢澤：最近の亜鉛製錬の進歩と展望（日本鉱業会「硫化鉱の新しい処理法に関する技術研究委員会」編，p. 129-132, (1983)
- 2) Warner, N.A.: Trans. IMM. Vol. 92, p. C147-152, (1993)
- 3) Surapunt, S.・板垣：資源と素材，Vol. 110, p. 631-635, (1994)
- 4) 日野・阿座上：資源と素材，Vol. 109, p. 785-790, (1983)
- 5) 日野・阿座上・亀田：日本金属学会誌，Vol. 39, p. 1175-1181, (1975)
- 6) Massalski, T.B. et al.: Binary Alloy Phase Diagrams, Vol. 1, p. 1409, (1986), ASM (Metal Parks, OH)
- 7) Surapunt, S.・武田：資源・素材学会平成 6 年度春季大会研究・業績発表講演要旨集，p. 328, (1994)，資源と素材（投稿中）
- 8) Everett, L.H., Jacobs, P.W.M. and Kitchner, J.A.: Acta Metall., Vol. 6, p. 281-284, (1968)
- 9) 阿座上・矢澤：日本鉱業会誌，Vol. 84, p. 1663-1668, (1968)
- 10) Tomita, M., Azakami, T., Timberg, L.M. and Toguri, J.M.: Trans. JIM, Vol. 22, p. 717-722, (1981)
- 11) Surapunt, S. and Itagaki, K.: Met. Rev. MMIJ, Vol. 12, p. 84-103, (1994)

ニュース

June 8, 1995 Montreal, CANADA

The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (CIM) to celebrate 100 Years "PRIDE IN THE PAST, VISION FOR THE FUTURE" has unveiled the theme and logo of their 100th ANNIVERSARY to be celebrated in 1998 by the Honourable Anne MacLellan, Minister for Natural Resources Canada, in the presence of senior executives of the Institute and industrial leaders, the chosen theme is "Pride in the Past, Vision for the Future" has been shortened to just "PRIDE and VISION"

CIM to celebrate the 100th Anniversary are well under way. Among them, the Annual General Meeting of the Institute, "CIM 98", along with a CIM Super Tradex (Trade Show) will be held in Montreal, where the CIM was originally founded, and in conjunction with the 16th Congress of the worldwide Council of Mining and Metallurgical Institution (CMMI). Contact Fax-Toby King 514-939-2710