

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03405

研究課題名(和文)アーバンマインの高度利用による資源循環・環境調和型高潔浄・機能材料の創成

研究課題名(英文)Creation of highly clean and functional materials for resource recycling and environmental harmony through advanced utilization of Urban Mine

研究代表者

小野 英樹 (ONO, HIDEKI)

富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授

研究者番号：30283716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)： 溶融Fe中におけるSnとMo, B, Ni, Ti, Nb間、溶融Fe-18Cr中におけるSnとMo, B, Ni, Ti, Nb間ならびに溶鉄中CuとM (Mn, Cr)間、SnとMn間の相互作用係数を測定し、溶鉄中循環性元素の挙動を把握するために必要な熱力学データベースを確立した。さらに、希土類元素の熱力学データとしてLaの脱酸、脱硫平衡を測定し、LaとM (O, S) 間の相互作用係数を得た。得られた熱力学データを用いて凝固界面における晶析出反応の解析を行い、Laの添加量によって晶出物の種類と量を制御可能なモデルの構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

溶鉄中循環性元素と合金・遷移金属元素間の熱力学データの確立を行った。本成果により、鋼中循環性元素濃度の上昇が鋼中の合金元素の活量に及ぼす影響の把握が可能となる。したがって、循環性元素の無害化ならびに高価な合金元素添加量の精緻制御が可能となる。さらに、近年熱力学諸量はデータベースとして利用され、凝固・熱処理時の現象解明にも用いられ、溶鋼ならびに凝固過程において生成する晶・析出物の種類と量の制御が可能となる。これらの成果を鉄源として鉄スクラップの使用比率の向上へ活用することにより、製鉄プロセスにおける省資源、省エネルギー、炭酸ガス排出削減が期待される。

研究成果の概要(英文)： The interaction coefficients between Sn and Mo, B, Ni, Ti, and Nb in molten Fe, between Sn and Mo, B, Ni, Ti, and Nb in molten Fe-18Cr, and between Cu and M (Mn, Cr) and Sn and Mn in molten iron were measured to establish a thermodynamic database necessary to understand the behavior of tramp elements in molten iron. The thermodynamic database, which is essential to understand the behavior of tramp elements in molten iron, was established. Furthermore, as thermodynamic data of rare earth elements, the deoxidation and desulfurization equilibria of La were measured, and the interaction coefficients between La and M (O, or S) were obtained. Using the derived thermodynamic data, we analyzed the crystallization and precipitation reactions at the solidification interface and developed a model that can control the type and amount of crystallization products depending on the amount of La added.

研究分野：金属生産、環境材料、リサイクル

キーワード：循環性元素 リサイクル 相互作用

1. 研究開始当初の背景

省資源、省エネルギー、炭酸ガス排出量削減の観点から、高度循環型の製鉄プロセスの構築が指向されており、将来に向け鉄源としての鉄スクラップの使用比率向上が最も重要な課題の一つとなっている。その一方、近年、様々な機能を持った合金の普及やスクラップ形状の複雑化などにより、スクラップ使用時における種々の不純物元素の混入は避けられない上に、既存のリサイクルプロセスにおいては非常に除去が困難である循環性元素が存在する。そのため、今後のスクラップ使用比率向上により予想される鋼中循環性元素濃度の上昇が鋼品質におよぼす影響を正確に把握し制御することが必要である。

2. 研究の目的

Cu、Sn は鉄スクラップ中に多く含まれる代表的な循環性元素であり、既存のリサイクルプロセスによる除去は困難である。Cu の混入は熱延時の鋼表面における赤熱脆性の原因となり¹⁾、Sn の共存が表面赤熱脆性を助長することがわかっているが²⁾、その反面、Cu はフェライト系ステンレスでは耐錆性、抗菌性、熱疲労特性を向上するために意図的に加えられることもある³⁻⁵⁾。現在は、このスクラップ中に含まれる Cu の有効利用を目的とした研究もおこなわれており、微細析出する Cu-S による析出強化が注目されている⁶⁻⁸⁾。さらに、ステンレス鋼への高価な合金元素添加量の削減のため、Sn の添加も検討されている⁹⁾。そこで本研究では、鋼中遷移金属・循環性元素濃度の上昇が、鋼材の晶析出現象におよぼす影響を正確に把握することができる新しい学理を構築することを目的とする。鉄中循環性元素に関する熱力学データを整備することが重要であり、中でも特に重要となる溶鉄中 Cu、Sn と合金・遷移金属元素間の熱力学データの測定を行った。さらに、循環性元素は他元素との反応性が低く、反応に直接かかわるよりも相互作用の影響で、他の晶析出反応に影響をおよぼす。一方で、希土類元素(REM)は還元反応性が強く、また固-液間の分配係数が小さく凝固時に液相に偏析する性質を有するため、凝固界面において晶析出反応に関与する可能性が大きい元素である。したがって凝固界面においては、循環性元素と REM が直接反応に関与する可能性がある。そこで、REM による晶析出反応制御の検討のために必要な熱力学データを測定し、晶出物の種類と量を制御可能なモデルを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

鋼中不純物元素の鋼品質・材料への影響は一般に鋼中における各成分元素の活量によって支配される。式(1)に溶鋼中における成分元素*i* の部分モル Gibbs エネルギー \bar{G}_i を示す。

$$\bar{G}_i = G_i^{\circ} + RT \ln a_i \quad (1)$$

ここで G_i° は成分元素*i*の標準 Gibbs エネルギーであり、 a_i は成分元素*i*の活量である。 a_i が大きくなると、部分モル Gibbs エネルギーが大きくなるため、成分元素*i*の反応性が上昇し、精錬工程においては除去されやすくなり、精錬や凝固工程において鋼中で晶出物、析出物を形成しやすくなることを示している。鉄鋼製造時において溶鋼中各成分活量が把握できれば、スクラップ利用の許容度拡大や高価な合金元素添加量を精緻に制御することが可能となる。したがって鉄中循環性元素に関する熱力学データを整備することが重要である。活量はさらに活量係数 γ_i とモル分率 x_i の積で表される ($a_i = \gamma_i \times x_i$)。活量係数 γ_i は一般に溶鋼中に共存するその他の成分元素との相互作用に影響される。しかしながら、鋼中遷移金属元素、循環性元素の熱力学データで利用できるものは限られており、循環性元素と種々の遷移金属元素との親和力を表す相互作用係数については少なく、特に高 Cr 鋼など合金鋼中のデータはほとんどないのが現状である。そこで溶鋼中ならびに高 Cr 溶鋼中における循環性元素-遷移金属元素間の熱力学的親和力の測定を行った。溶鋼中に成分元素 *i* と *j* が共存するとき、成分元素 *i* の活量係数 γ_i は共存する元素 *j* の濃度が低い場合には式(2)のように表される。

$$\ln \gamma_i (\text{in Fe-}i\text{-}j) = \ln \gamma_i (\text{in Fe-}i) + \varepsilon_i^j x_j \quad (2)$$

ここで、 ε_i^j は元素*j*に対する元素*i*の相互作用係数であり、本研究で測定する熱力学データである。Ag は Fe とは高温では不混和であり、溶融 Fe 相と溶融 Ag 相が共存することが知られている。溶融 Fe-Ag 相間における Sn の分配平衡を利用してこの相互作用係数を測定した。模式図を Fig. 1 に示す。共存する溶融 Fe 相と溶融 Ag 相に Sn を添加して平衡させると、Sn は両相に溶解し、各相中の Sn 濃度は一定値となる。ここに新たに元素 M を添加すると、M と Sn との間の熱力学的相互作用により溶融 Fe 相と溶融 Ag 相の Sn 濃度の比 (以下分配比) が変化する。したがって Sn の分配比の変化を測定することで Sn-M 間の相互作用

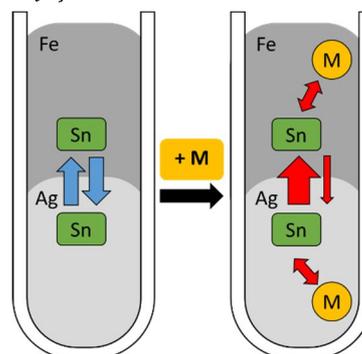


Fig. 1 相互作用係数の測定原理.

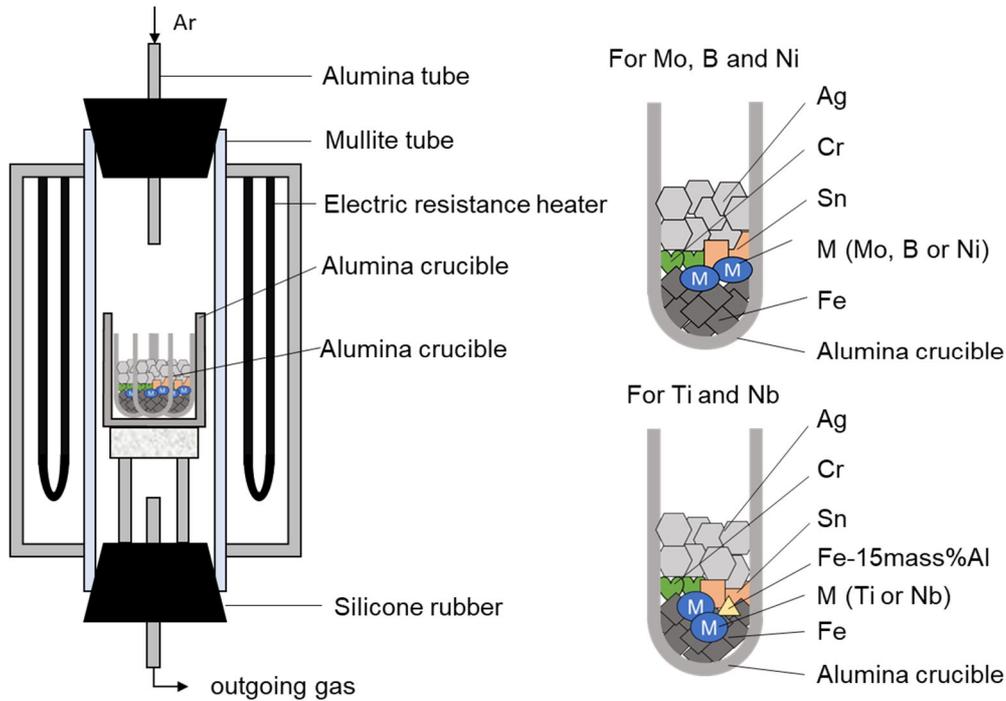


Fig. 2 実験装置およびつぼの模式図.

用係数を決定できる。

溶融 Fe-Ag 間および Fe-18mass%Cr 合金 (以下 Fe-18Cr)-Ag 間における Sn の平衡分配比におよぼす M (Mo, B, Ni, Ti or Nb) の影響を以下の実験により測定した。実験装置、試料の模式図を Fig.1 に示す。実験にはガス雰囲気制御ができるムライト製反応管 (外径 70 mm, 内径 60 mm, 長さ 1000 mm) の電気抵抗炉を用いた。アルミナのつぼ (外径 38 mm, 内径 34 mm, 高さ 45 mm) または (外径 15 mm, 内径 12 mm, 高さ 100 mm) に所定の組成となるように秤量した Fe, Ag, Sn (, Cr) と添加元素 M を入れた。さらに、Ti, Nb の影響を調べる実験では、Ti, Nb がアルミナのつぼを還元するのを防止するため、あらかじめ高周波誘導炉を用いて作製した Fe-15mass%Al 合金を加えた。Mo, B, Ni の影響を調べた実験における各元素の初期質量を Table 1 に、Ti, Nb の影響を調べた実験における各元素の初期質量を Table 2 に示す。試料を入れたアルミナのつぼをアルミナホルダー (外径 45 mm, 内径 38 mm, 高さ 128 mm) に入れ、常温の電気抵抗炉内に装入した。Ar 雰囲気中で 1873 K まで昇温し、5 h 保持し平衡させた。その後炉内から試料を取り出して水冷し、Fe, Ag 各相中の元素濃度分析を ICP 発光分光分析により行った。

4. 研究成果

溶融 Fe-Ag 相間、溶融 (Fe-18Cr)-Ag 相間の Sn の分配比をそれぞれ $L'_{Sn} = x_{Sn}(\text{in Ag}) / x_{Sn}(\text{in Fe})$, $L'_{Sn} = x_{Sn}(\text{in Ag}) / x_{Sn}(\text{in Fe-18Cr})$ と定義する。ここで $x_{Sn}(\text{in } \alpha)$ は、 α 相中 Sn のモル分率である。溶融 Fe-Ag 相間、溶融 Fe-18Cr-Ag 相間の L'_{Sn} におよぼす元素 M (M: Mo, B, Ni, Ti, Nb) の影響をそれぞれ Fig. 3, 4 に示す。Sn の分配比は、溶融 Fe-Ag 相間、溶融 (Fe-18Cr)-Ag 相間ともに Mo, B, Ti, Nb の添加により上昇し、Ni の添加により減少した。これより、溶融 Fe 相中、溶融 Fe-18Cr 中において Mo, B, Ti, Nb と Sn は互いに反発し、Ni は Sn と互いに引き合うことがわかる。Sn の分配比におよぼす Mo, B, Ni, Ti, Nb の影響から相互作用係数として下記の値を得た。

$$\begin{aligned} \varepsilon_{Sn(\text{in Fe})}^{\text{Mo}} &= 6.6(\pm 4.9), \\ \varepsilon_{Sn(\text{in Fe})}^{\text{B}} &= 9.9(\pm 1.2), \\ \varepsilon_{Sn(\text{in Fe})}^{\text{Ni}} &= -6.8(\pm 1.7), \\ \varepsilon_{Sn(\text{in Fe})}^{\text{Ti}} &= 6.83(\pm 1.2), \\ \varepsilon_{Sn(\text{in Fe})}^{\text{Nb}} &= 36.1(\pm 1.7), \end{aligned}$$

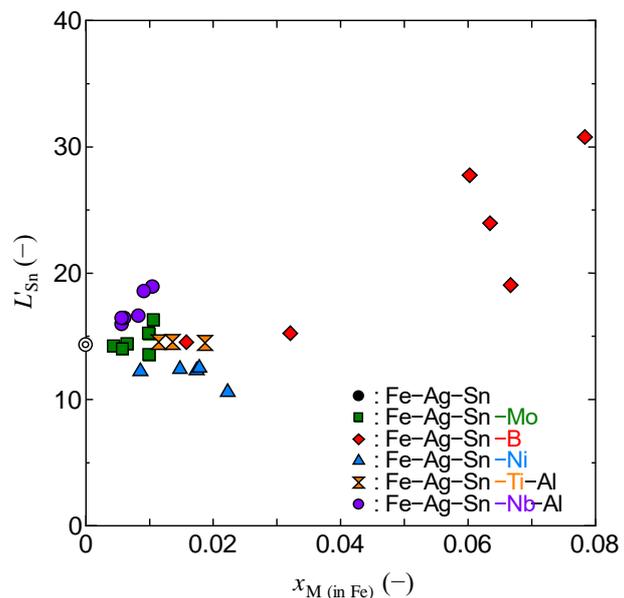


Fig. 3 溶融 Fe-Ag 相間における Sn の分配比におよぼす元素 M の影響.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{Sn(in Fe-18Cr)}}^{\text{Mo}} &= -2.9 (\pm 3.2), \\ \varepsilon_{\text{Sn(in Fe-18Cr)}}^{\text{B}} &= 9.6 (\pm 1.9), \\ \varepsilon_{\text{Sn(in Fe-18Cr)}}^{\text{Ni}} &= -8.9 (\pm 2.6), \\ \varepsilon_{\text{Sn(in Fe-18Cr)}}^{\text{Ti}} &= 10.4 (\pm 5.7), \\ \varepsilon_{\text{Sn(in Fe-18Cr)}}^{\text{Nb}} &= 20.5 (\pm 8.0)\end{aligned}$$

一方で Fe-Sn-M 3 元系において活量係数は Toop の式を用いて表すことができ、Fe-Sn-M 中の M の活量係数は最近接原子間の結合を考慮すると式(2)で表される。¹⁰⁾

$$\begin{aligned}\ln \gamma_M (\text{in Fe-Sn-M}) &= \\ \ln \gamma_M (\text{in Fe-M}) \frac{x_{\text{Fe}}}{x_{\text{Fe}} + x_{\text{Sn}}} + \\ \ln \gamma_M (\text{in Sn-M}) \frac{x_{\text{Sn}}}{x_{\text{Fe}} + x_{\text{Sn}}} - (1 - \\ x_M)^2 \frac{\Delta G^{Ex}_{\text{Fe-Sn}}}{RT}\end{aligned}\quad (2)$$

正則溶体モデルから、 $\Delta G^{Ex}_{\text{Fe-Sn}}$ は式(3)で与えられる。

$$\Delta G^{Ex}_{\text{Fe-Sn}} = RT \{ x_{\text{Fe}} \ln \gamma_{\text{Fe}} (\text{in Fe-Sn}) + x_{\text{Sn}} \ln \gamma_{\text{Sn}} (\text{in Fe-Sn}) \} \quad (3)$$

ここで、実験条件において $x_M \ll 1$ であるから $x_{\text{Fe}} + x_{\text{Sn}} = 1$ とすると、

$$\begin{aligned}\ln \gamma_M (\text{in Fe-Sn}) &= \ln \gamma_{M(\text{in Fe})}^0 + \varepsilon_{M(\text{in Fe})}^{\text{Sn}} x_{\text{Sn}} \\ &= x_{\text{Sn}} \ln \gamma_{M(\text{in Sn})}^0 + (1 - x_{\text{Sn}}) \ln \gamma_{M(\text{in Fe})}^0 - \{ x_{\text{Sn}} \ln \gamma_{\text{Sn}} (\text{in Fe-Sn}) + (1 - \\ &x_{\text{Sn}}) \ln \gamma_{\text{Fe}} (\text{in Fe-Sn}) \}\end{aligned}\quad (4)$$

ここで、 $\ln \gamma_{\text{Fe}} (\text{in Fe-Sn}) \approx 0$ より、

$$\varepsilon_{\text{Sn(in Fe)}}^{\text{M}} = \ln \gamma_{M(\text{in Sn})}^0 - \ln \gamma_{\text{Sn(in Fe)}}^0 - \ln \gamma_{M(\text{in Fe})}^0 \quad (5)$$

Fe-Cr 中 Sn-M 間の相互作用係数については、式(5)の Fe を Fe-Cr に置き換えることで式(6)が得られる。

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{Sn(in Fe-Cr)}}^{\text{M}} &= \ln \gamma_{M(\text{in Sn})}^0 - \ln \gamma_{\text{Sn(in Fe-Cr)}}^0 - \ln \gamma_{M(\text{in Fe-Cr})}^0 \\ &= \ln \gamma_{M(\text{in Sn})}^0 - (\ln \gamma_{\text{Sn(in Fe)}}^0 + \varepsilon_{\text{Sn(in Fe)}}^{\text{Cr}} x_{\text{Cr}}) - (\ln \gamma_{M(\text{in Fe)}}^0 + \varepsilon_{M(\text{in Fe)}}^{\text{Cr}} x_{\text{Cr}})\end{aligned}\quad (6)$$

式(5)、(6)から式(7)が得られる。

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{Sn(in Fe-18Cr)}}^{\text{M}} &= \varepsilon_{\text{Sn(in Fe)}}^{\text{M}} - (\varepsilon_{\text{Sn(in Fe)}}^{\text{Cr}} + \\ \varepsilon_{M(\text{in Fe)}}^{\text{Cr}}) x_{\text{Cr(in Fe-18Cr)}}\end{aligned}\quad (7)$$

式(5)を用いて、Fe-M, Sn-M 各 2 元系における M の活量係数から、Fe 中 Sn-M 間の相互作用係数の推算を行い、実測値との整合性を調べた。各元素 M について、 $\gamma_{M(\text{in Fe})}^0$ の文献値¹¹⁾、 $\gamma_{M(\text{in Sn})}^0$ の文献値¹²⁻¹⁴⁾、 $\gamma_{\text{Sn(in Fe,1873K)}}^0$ の文献値¹¹⁾(=2.58)を用いて(5)式に代入し、計算を行った。

Fe 中における相互作用係数の実測値(本研究ならびに文献値^{11,15)})と推算値の比較を Fig. 5 に示す。図中の縦軸と横軸の値が等しいことを表す実線から離れているほど、実測値と推算値の差が大きいことを表している。縦軸に実測値、横軸に正則溶体モ

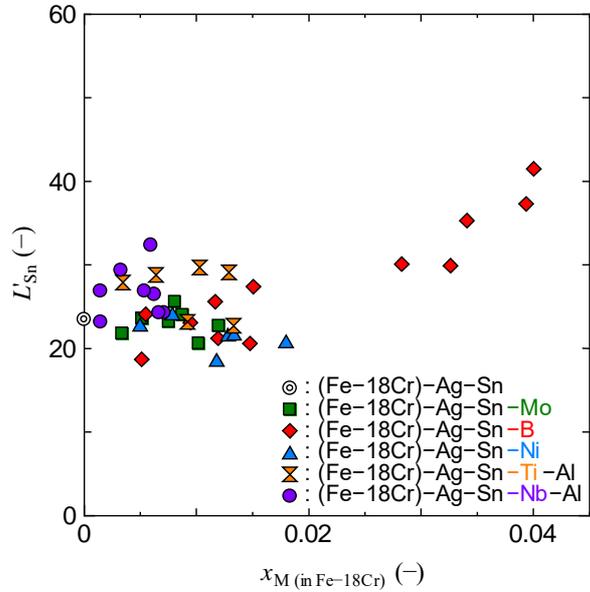


Fig. 4 溶融 (Fe-18Cr)-Ag 相間における Sn の分配比におよぼす元素 M の影響。

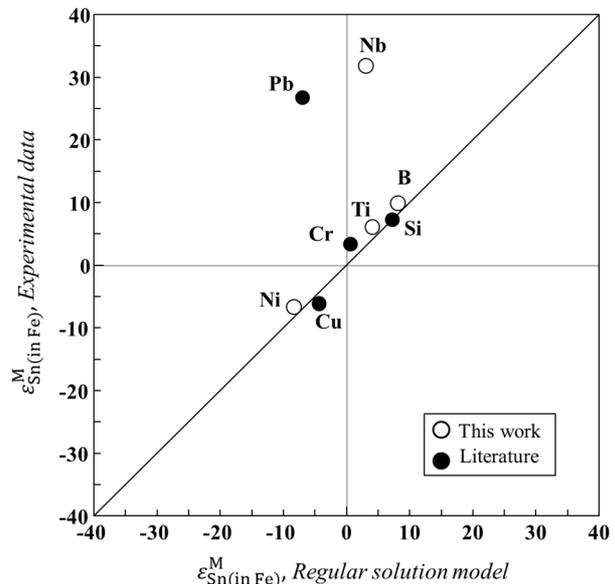


Fig. 5 $\varepsilon_{\text{Sn(in Fe)}}^{\text{M}}$ の実測値と正則溶体モデルに基づいた推算値との関係。

デルによる計算値をプロットした。B, Si, Ti, Cr, Cu, Ni は実測値と計算値で傾向がおよそ一致した。一方、Pb, Nb は実測値と計算値で大きく異なる結果となった。同様に式(6)を用いて溶鉄中における相互作用係数から Fe-18Cr 中 Sn-M 間の相互作用係数の推定を行い、実測値との整合性を調べた。Fe 中 Sn-M 間の相互作用係数 $\varepsilon_{\text{Sn}(\text{in Fe})}^{\text{M}}$ の測定値には本研究で得られた値を、 $\varepsilon_{\text{Sn}(\text{in Fe})}^{\text{Cr}}$ および $\varepsilon_{\text{M}(\text{in Fe})}^{\text{Cr}}$ には文献値¹¹⁾をそれぞれ用いた。Fe-18Cr 中における相互作用係数の実測値と推算値の比較を Fig. 6 に示す。B, Ni, Ti と Sn 間の相互作用係数は推算値と実測値がよく一致した。一方で Nb は実測値と計算値で大きく異なる値となった。以上から、正則溶体モデルにより推算される溶鉄中 Sn に関する相互作用係数は、多くの元素に関して正負の傾向は一致するが、値が大きく異なるものがあることがわかり、既存の熱力学データのみでは正確な値を把握することができないことがわかった。本研究により、溶融 Fe 中における Sn と Mo, B, Ni, Ti, Nb 間、溶融 Fe-18Cr 中における Sn と Mo, B, Ni, Ti, Nb 間の相互作用係数が得られた。

同様の手法で、溶鉄中 Cu-M (Mn, Cr)間、Sn-Mn 間の相互作用係数を求め、Cu-M, Sn-M 間において必要な熱力学データを確立した。

希土類元素(REM)は還元反応性が強く、また固 - 液間の分配係数が小さく凝固時に液相に偏析する性質を有するため、凝固界面において晶析出反応に参与する可能性が大きい元素である。したがって凝固界面においては、循環性元素と REM が直接反応に参与する可能性がある。その検討の基盤として必要な希土類元素の熱力学データとして La の脱酸、脱硫平衡を測定し、La と M (O, S) 間の相互作用係数を得た。得られた熱力学データを用いて凝固界面における晶析出反応の解析を行い、La の添加量によって晶出物の種類と量を制御可能なモデルの構築を行った。

以上、溶鉄ならびに溶融 Fe-18Cr 中 Cu, Sn と合金・遷移金属元素間の熱力学データの確立、La 添加による晶析出制御の基盤となる熱力学データの測定、晶出物の種類と量を制御可能なモデルの構築を行った。本研究で得られた成果により、鋼中循環性元素濃度の上昇が鋼中の合金元素の活量に及ぼす影響の把握が可能となり、溶鋼ならびに凝固過程において生成する晶・析出物の種類と量の制御が可能となる。これにより、循環性元素の無害化、スクラップ利用の拡大、

高価な合金元素添加量の精緻制御、さらには 新たな合金鋼・高機能鋼開発・製造への応用が期待される。

参考文献

- 1) 及川ら: *CAMP-ISIJ*, **22**(2009), 846.
- 2) 秦野ら: *鉄と鋼*, **88**(2002), 142.
- 3) Kondo *et al.*: *ISIJ Int.*, **55**(2015), 1044.
- 4) 鈴木: *CAMP-ISIJ*, **29**(2016), 305.
- 5) 濱田ら: *鉄と鋼*, **102**(2016), 80.
- 6) 石黒ら: *CAMP-ISIJ*, **27**(2014), 310.
- 7) 片岡ら: *CAMP-ISIJ*, **25**(2012), 1080.
- 8) 浦田ら: *CAMP-ISIJ*, **28**(2015), 182.
- 9) M. Hatano, H. Matsuyama, Y. Tamura and T. Morita: *Nippon Steel Tech. Rep.*, **416** (2020), 40. (in Japanese)
- 10) H.Ono, D.Hirai and T.Usui: *J. High Temp. Soc.*, **26**(2000), 139.
- 11) The Japan Society for the Promotion of Science, The 19th Committee on Steelmaking: *Steelmaking Data Sourcebook*, Gordon and Breach Science Publishers, New York, (1988).
- 12) I. Sato and Y. Inoue: *Mater. Trans.*, **52**(2011), 704.
- 13) T. B.Massalski: *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd ed., plus updates, ASM International, Materials Park, OH, (1996), CD-ROM.
- 14) R.R.Hultgren: *Selected Values of Thermodynamic Properties of Binary Alloys*, American Society for Metals, Metals Park, OH, (1973), 19.
- 15) *Thermodynamic Data for Steelmaking*, ed. by M.Hino and K.Ito, Tohoku University Press, Sendai, (2010), 260.

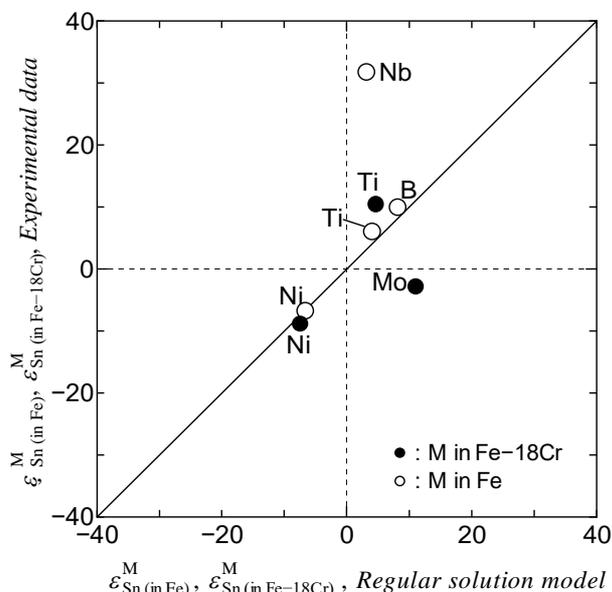


Fig. 6 $\varepsilon_{\text{Sn}(\text{in Fe-18Cr})}^{\text{M}}$ の実測値と正則溶体モデルに基づいた推算値との関係.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hideki Ono and Jingo Aboshi	4. 巻 59
2. 論文標題 Distribution Ratio of Copper and Tin between Iron and Ca-Pb alloy at 1823 K	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 703-708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-420	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hideki Ono	4. 巻 985
2. 論文標題 Removal of Tramp Elements from Molten Iron for Recycling Ferrous Scraps	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 74-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.985.74	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 堀 功雅、小野 英樹
2. 発表標題 溶融Fe-18mass%Cr合金中SnとMo, B, Ni間の相互作用係数
3. 学会等名 日本鉄鋼協会・第180回秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hideki Ono, Koga Hori
2. 発表標題 Thermodynamic interactions between tin and alloying elements in molten Fe-Cr alloy
3. 学会等名 11th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts (MOLTEN 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideki Ono, Kenji Taguchi, Katsuhiro Yamaguchi, Tateo Usui
2. 発表標題 Methods to Remove Tramp Elements in Steel for Recycling Ferrous Scraps
3. 学会等名 2019 - Sustainable Industrial Processing Summit & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koga Horii and Hideki Ono
2. 発表標題 Interaction Parameter between Cu and Cr in Molten Iron
3. 学会等名 14th International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki Ono
2. 発表標題 Interaction Parameters between Sn and Alloying elements in Molten Iron
3. 学会等名 14th International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原慎平、小野英樹、小西宏和
2. 発表標題 1873 Kにおける溶鉄中SnとTi, Nb間の相互作用係数
3. 学会等名 日本鉄鋼協会・第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki Ono
2. 発表標題 Determination of Thermodynamic Interactions between copper (or tin) and alloying elements in molten iron
3. 学会等名 16th Discussion Meeting on Thermodynamics of Alloys (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideki Ono
2. 発表標題 Interaction coefficients of alloying elements on copper and tin in iron
3. 学会等名 7th International Congress on Science and Technology of Steelmaking (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideki Ono
2. 発表標題 Removal of Tramp elements in steel for recycling ferrous scraps
3. 学会等名 13th International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野英樹
2. 発表標題 溶鉄中循環性元素と合金元素間の相互作用係数
3. 学会等名 第177回日本鉄鋼協会春季講演大会シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野英樹
2. 発表標題 高度循環製鉄に向けた鋼中遷移金属・循環元素の熱力学
3. 学会等名 第54回富山大学材料研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------