

平成28年4月5日

1. 専門分野:材料工学、合金設計、組織制御
2. 理研での研究テーマ  
「合金状態図(相図)と組織制御に関する基礎および応用研究」

3. 経歴:

年/月 ~ 年/月	学 歴
1965/4~1969/3	東北大学 工学部
1969/4~1971/3	東北大学 大学院工学研究科/修士課程
1971/4~1974/3	東北大学 大学院工学研究科/博士課程

年/月 ~ 年/月	職 歴
1974/4~1982/3	大同製鋼株式会社(現 大同特殊鋼株式会社)
1983/4~1993/3	東北大学工学部/ 助教授
1994/4~1997/3	東北大学工学部/ 教授
1997/4~2010/3	東北大学 大学院工学研究科/ 教授
2010/4~現在	東北大学/ 名誉教授

年/月 ~ 年/月	職歴以外の研究歴/その他学会活動等に関する事項
1995/5~2000/6	APDIC (Alloy Phase diagram International Committee) Vice Chairman
2000/4~2002/3	日本金属学会欧文誌編集委員長
2001/6~2013/3	伸銅技術研究会(現日本銅学会)理事
2001/4~2011/3	日本学術振興会「合金状態図 172 委員会」委員長
2003/4~2005/3	日本鉄鋼協会理事
2007/4~2008/3	日本金属学会会長
2010/4~現在	日本鉄鋼連盟鋼材規格三者委員会委員長

## 研究成果

### (1) 合金状態図の熱力学データベース構築

多元系合金の状態図を計算、予測するために、CALPHAD(Calculation of Phase Diagrams)法によって鉄鋼、Cu 基合金、はんだ合金、化合物半導体、Co 基合金のデータベースを世界に先駆けて作成した。この CALPHAD 法によるデータベースは、多成分系における相平衡ばかりか、変態の駆動力、粘性や表面エネルギー等の諸物性を予測することにも用いられていることから、材料開発に不可欠な道具として国内外の多くの企業や大学が導入し、現在広く使われている。

### (2) 鉄鋼材料

低合金鋼から高合金鋼にわたる組織制御について次の様な研究を行った。

- 1) 2相鋼の合金設計の基礎となるフェライト( $\alpha$ )とオーステナイト( $\gamma$ )の相平衡や積層欠陥エネルギーおよびマルテンサイト変態についての熱力学的解析を行い、磁気変態の影響を明らかにした。
- 2) 分散組織や2相混合組織の粒成長について実験およびシミュレーションによる研究を行い、ピン止め効果を定量的に示した。また Fe-Cu 系において液相2相分離による卵型構造粉末の形成機構を解明した。
- 3) 鉄鋼中のMnS、CrS、TiS等種々の硫化物の生成とその形態について系統的研究を行い、サルファイドメタラジの基礎を築いた。

### (3) 超耐熱合金

- 1) Ni 基超耐熱合金の主要構成相である fcc 不規則  $\gamma$  相と  $L1_2$  構造の  $\gamma'$  規則相、さらにコーティング相として使用される B2 構造  $\beta$  相に関する相平衡を実験的に決定し、各相の相対的安定性に対する合金元素の影響を明らかにした。
- 2) 従来の Co 系では、 $\gamma'$  規則相はあまり報告が無く、Ni 系で利用されているような合金設計が難しいと考えられていた。しかし、Co-Al-W 系において  $L1_2$  構造の金属間化合物  $Co_3(Al, W)$  を発見すると共に、 $\gamma + \gamma'$  合金が高温強度に優れることを示し、Co 基超耐熱合金が次世代耐熱材料として有望である事を示した。

### (4) 磁性および形状記憶合金

- 1) ハードディスクの高密度磁気記録媒体として使われている Co-Cr 基合金や、スピノーダル磁石合金であるアルニコ、Fe-Cr-Co 系合金、磁歪材料である Fe-Ga 合金等多くの磁性材料の安定性について熱力学的解析を行った。特に Co-Cr や Co-W 基合金では、垂直磁気記録に関係する磁気変態に基づく相分離を初めて実験的に証明し、特性向上への指針を示した。
- 2) Ni 基、Cu 基、Co 基、Fe 系で、メタ磁性、高加工性、高温駆動等従来に無い新しい機能や特徴を持つ形状記憶合金を多数発見した。Ni-Mn-In 系では、強磁性から常磁性へのマ

ルテンサイト変態を見出し、磁場誘起形状記憶効果を初めて実証した。また Cu-Al-Mn 系では、組成と結晶粒組織制御により従来の TiNi 合金に比して同等の超弾性効果と2倍以上の高加工性を併せ持つ実用的超弾性合金を開発した。さらに、Fe-Ni-Co-Al 基合金の  $\gamma \rightarrow \alpha'$  変態や、Fe-Mn-Al 基合金の  $\alpha \rightarrow \gamma'$  マルテンサイト変態を利用し、Fe 基合金で初めて5%~13%もの超弾性特性を有する形状記憶合金を開発した。

(5) 工業化及び商品化

- 1) 熱力学・状態図データベース構築： エレクトロニクス実装で重要なはんだ合金は環境問題より Pb フリーが求められており、そのための合金設計のためのデータベース、ADAMIS(Alloy Database for Micro-Solders)を開発し、販売されている。その他、鉄鋼中の硫化物や低比重鋼さらに Cu 合金のデータベースを構築し、国内外で利用されている。
- 2) Pb フリー快削鋼の実用化： 硫化物の形態制御の基礎研究やデータベースに基づき、Ti の炭硫化物を利用した快削ステンレス鋼や磁性合金、さらに CrS を利用した Pb フリー快削鋼を開発し、実用化に成功した。これらの非鉛快削鋼はすでに 20,000 トン以上の生産実績を有している。
- 3) 医療用 Cu 基超弾性合金および高強度・高導電 Cu 基合金の開発：Cu-Al-Mn 超弾性合金の製造技術を企業へ技術移転し、巻き爪矯正器具を製品化した。現在 3,000 以上の医療機関で広く使用されている。また、高強度・高導電性の Cu-Al-Ni 基合金を開発し、DVD のサスペンションワイヤーへの実用化に成功した。
- 4) Co 基超耐熱合金の開発： Co-Al-W 基合金で見出した  $L1_2$  構造の  $Co_3(Al, W)$  金属間化合物で強化した Co 基スーパーアロイを開発し、摩擦攪拌接合(FSW)用ツールとして実用化した。

1. T. Omori, T. Kusama, S. Kawata, I. Ohnuma, Y. Sutou, Y. Araki, K. Ishida, R. Kainuma, "Abnormal grain growth induced by cyclic heat treatment", **Science** 341 (2013) 1500-1502.
2. T. Omori, K. Ando, M. Okano, X. Xu, Y. Tanaka, I. Ohnuma, R. Kainuma, K. Ishida, "Superelastic Effect in Polycrystalline Ferrous Alloys", **Science** 333, (2011) 68-71.
3. Y. Tanaka, Y. Himuro, R. Kainuma, Y. Sutou, T. Omori and K. Ishida, "Ferrous Polycrystalline Shape Memory Alloy showing Huge Superelasticity", **Science** 327 (2010) 1488-1490.
4. K. Ando, T. Omori, I. Ohnuma, R. Kainuma and K. Ishida, "Ferromagnetic to weak-magnetic transition accompanied by bcc to fcc transformation in Fe-Mn-Al alloy", **Appl. Phys. Lett.**, 95 (2009) 212504-1-212504-3
5. Y. Sutou, N. Koeda, T. Omori, R. Kainuma and K. Ishida, "Effects of aging on stress-induced martensitic transformation in ductile Cu-Al-Mn-based shape memory alloys", **Acta Mater.**, 57 (2009) 5759-5770.
6. I. Ohnuma, T. Saegusa, Y. Takaku, C.P. Wang, X.J. Liu, R. Kainuma and K. Ishida, "Microstructural Evolution of Alloy Powder for Electronic Materials with Liquid Miscibility Gap", **J. of Electron. Mater.**, 38 (2009) 2-9.
7. J. Sato, T. Omori, K. Oikawa, I. Ohnuma, R. Kainuma and K. Ishida, "Cobalt-Base High Temperature Alloys", **Science**, 312 (2006) 90-91.
8. R. Kainuma, Y. Imano, W. Ito, Y. Sutou, H. Morito, S. Okamoto, O. Kitakami, K. Oikawa, A. Fujita, T. Kanomata and K. Ishida, "Magnetic-field-induced shape recovery by reverse phase transformation", **Nature**, 439 (2006) 957-960.
9. R. Umetsu, K. Kobayashi, A. Fujita, K. Oikawa, R. Kainuma and K. Ishida, "Half-metallic Properties of  $\text{Co}_2(\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{Ga}$  Heusler Alloys", **Phys. Rev.**, B72 (2005) 214412.
10. Y. Sutou, T. Omori, Y. Yamauchi, N. Ono, R. Kainuma, and K. Ishida, "Effect of Grain Size and Texture on Pseudoelasticity in Cu-Al-Mn-based Shape Memory Wire", **Acta Mater.**, 53 (2005) 4121-4133.
11. C. P. Wang, X. J. Liu, M. Jiang, I. Ohnuma, K. Kainuma and K. Ishida, "Thermodynamic Database of the Phase Diagrams in Copper Base Alloy Systems", **J. Phys. Chem. Solids**, 66 (2005) 256-260
12. Y. Sutou, T. Omori, A. furukawa, Y. Takahashi, R. Kainuma, K. Yamauchi and K. Ishida, "Development of Medical Guide Wire of Cu-Al-Mn-Base Superelastic Alloy with Functionally Graded Characteristics ", **J. Biomed., Mater. Res. Part B: Appl Biomater.** 69B (2004) 64-68.
13. T. Ebata, T. Takiguchi, T. Shimizu, K. Oikawa, H. Mitsui and K. Ishida, "New Type of Pb-free machnable Soft-Magnetic Stainless Steels with dispersed Titanium Carbo-Sulfide", **Advanced Eng. Mater.**, 6 (2004) 889-893.
14. C.P. Wang, X.J. Liu, I. Ohnuma, R. Kainuma and K. Ishida, "Formation of Immiscible Alloy Powder with Egg-Type Microstructure", **Science**, 297 (2002) 990-993.