

# 安全・安心な高機能鉄鋼の製造技術を通して、持続可能な社会に貢献

Development of manufacturing technology for safe and secure high performance steels contributing to sustainable society

高機能鉄鋼製品は主原料として鉄鉱石から製造される。これらの製品は使用した後に、スクラップにされて、再度鉄原料に戻される。鉄は何度も再使用可能な環境にやさしい材料である。同時に鉄鋼製造工程は大量の資源とエネルギーが必要で、地球環境に大きく関わるので、環境負荷を低減することが必要である。最近ではさらに建築物や自動車の軽量化のため高強度鉄鋼材料が要求されている。私たちは持続可能な社会や産業を構築することを使命として、この講座では環境に適応する特に安全・安心な高機能な金属材料とその製造プロセスと社会制度を探究し、計算科学を用いた基礎研究から企業研究のメリットを生かした大規模実験に基づく応用研究と高度な教育を行っている。

High-performance steels are made primarily from iron ore. At the end of steel products' lives, they are scrapped and recycled as raw iron resources. Iron is therefore a reusable and environmentally friendly material. The steel manufacturing process, however, requires large amounts of resources and energy and affects the environment worldwide. It is therefore necessary to reduce its environmental impact at all stages of production. Additionally, demand for high-strength steels are increasing for weight reduction of infrastructure or automobiles. We aim to establish a sustainable society and industry, so we are studying safe, secure, environmentally adaptable materials and their production processes, as well as related social systems. We undertake education and research via a fundamental study that applies computational science and application research to large-scale experiments owing to resources of the company.

## 社会の安全・安心を担う環境配慮型構造用鉄鋼材料

私たちは、水素用途や建築・自動車用高強度鋼などのように、地球環境に配慮した高機能鉄鋼材料の研究開発を行っている。クリーンエネルギーである水素を燃料として走行する燃料電池自動車 (FCV) や FCV に水素を供給する水素ステーションでは高圧の水素ガスが用いられるが、これらの高圧水素システムに使われる鋼材には高強度かつ優れた耐水素脆化特性が要求される。本研究室では鋼中の主要合金元素の影響を検討している。焼入れままマルテンサイト鋼において、合金元素によっては水素拡散係数  $D$  を低下させること (Fig. 1) や、さらには Mn, Cr, Mo は粒界の水素脆化を促進することを明らかにした。これらの結果は、水素脆化を防止するための最適鋼材の選定や新規鋼材の開発に活用できる。

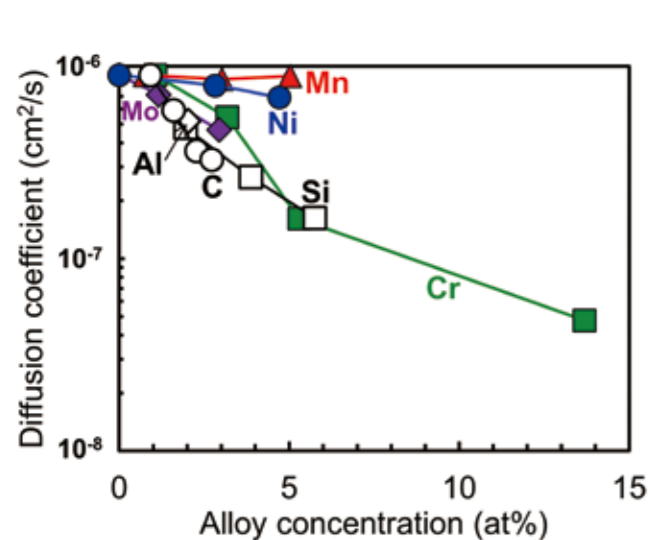


Fig. 1 Hydrogen diffusion coefficient  $D$  as function of alloy concentration.

## Adapting structural steels to the environment for a safe and secure society

We have conducted research and development of high-performance steel from the blast furnace process, such as high-strength steel for hydrogen systems, infrastructure, or automobiles, which are friendly to the environment. High-pressure gaseous hydrogen, a clean energy carrier, is used in fuel cell vehicles (FCVs) and hydrogen stations that supply hydrogen to FCVs. Steel used for highly pressurized hydrogen systems should have both high strength and sufficient resistance to hydrogen embrittlement (HE). In this study, the effects of the main alloying elements in steel were investigated. Our work clarified that several alloying elements decrease the hydrogen diffusion coefficient  $D$  in water-quenched martensitic steels. Furthermore, we confirmed that Mn, Cr, and Mo promote HE along grain boundaries. These results led to the selection of appropriate steel or development of new steel resistant to HE.

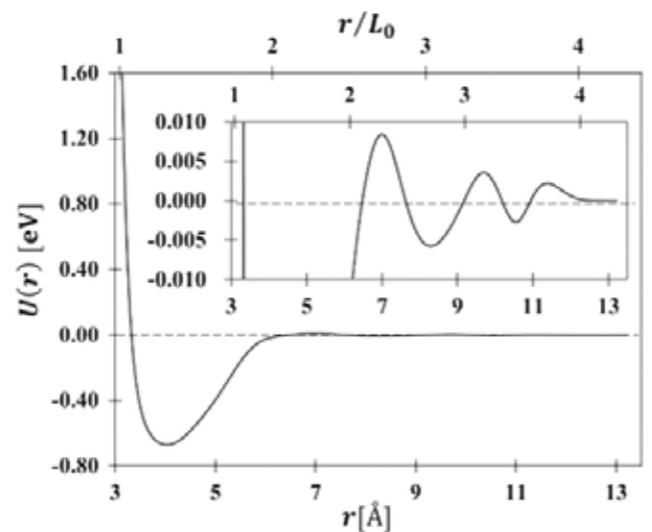


Fig. 2 The pair potential profile constructed for La system incorporating subtle perturbations reminiscent of Friedel oscillations in the long-range region.



客員教授 森口 晃治  
Professor Koji Moriguchi



客員教授 松村 勝  
Professor Masaru Matsumura



客員教授 大村 朋彦  
Professor Tomohiko Omura



客員教授 成木 紳也  
Professor Shinya Nariki

## 金属系ポリタイプの形成機構に関する理論物性研究

シンクロ型 LPSO 構造などのポリタイプ系の相安定性予測は、物性物理学や材料科学における永年の課題となっている。これは、ポリタイプの原子論的相互作用が、その幾何学的構造の単純さにもかかわらず、驚くほど複雑で繊細であることに由来する。我々は、La 系のポリタイプエネルギー論を参照系として、二体原子間作用モデル系を詳細考察し、フリーデル振動に似た長距離相互作用の変調が、LPSO 相の相安定性に重要な役割を果たすことを見出した (Fig. 2)。

## 鉄鉱石焼結プロセスにおけるマグネタイト鉱石利用

高鉄品位なマグネタイト鉱石およびバイオマスを使用することが環境負荷低減に結び付く。本研究では、マグネタイト鉱石の酸化促進および被還元性向上のための温度条件最適化を電気炉実験で検討した。その結果、低温焼結 (1300°C) が酸化促進に有効であり、酸化促進されるほど還元性が良好となることが判明した (Fig. 3)。

## 高信頼性セラミックス - 金属複合材料の開発

ファインセラミックス材料の機械特性と信頼性向上を目的として、新規のセラミックス - 金属複合材料に関する研究開発を行っている。炭素化チタン (Ti(C, N)) とステンレス鋼 (SUS316L) の焼結複合材料においては、SUS 添加量や Ti(C, N) 中の窒素含有量などにより、微細組織や機械特性が変化し、Ti(C<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>) 組成の原料粉を用いた場合には 1000 MPa を超える高い曲げ強度が得られた (Fig. 4)。

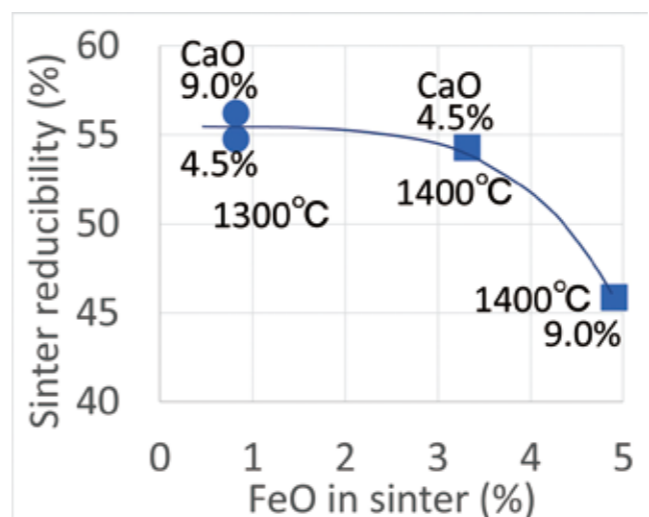


Fig. 3 Effect of holding temperature and CaO concentration on sinter reducibility.

## Theoretical study on formation mechanisms of metallic polytypes

Predicting polytype-phase stability such as synchronized long-period stacking-ordered (LPSO) structures has been a long-standing challenge in condensed matter physics and/or materials science because the atomistic interactions on polytype energetics are quite complex and delicate despite the simplicity of their geometry. We have extensively examined the two-body atomic interaction models using the La-based polytype energetics as a reference system and discovered that the modulation of long-range interactions resembling Friedel oscillations plays a crucial role for the phase stability of LPSO structures (Fig. 2).

## Utilization of magnetite ore in the iron ore sintering process

Using magnetite iron ore and biomass is effective in reducing environmental load. In this study, optimizing the temperature profile to promote the oxidation of magnetite ore and sinter reducibility has been examined through the electric furnace experiment. Low-temperature sintering (1300°C) is effective for oxidation in sintering, which results in high reducibility (Fig. 3).

## Development of high-reliability ceramics-metal composites

For the purpose of improving the mechanical properties and reliability of fine ceramic materials, we studied novel ceramics and metal composites. In the sintered Ti(C, N)-SUS316L composites, the microstructure and mechanical properties were affected by the amount of SUS and the nitrogen content in Ti(C, N), and high-bending strength exceeding 1,000 MPa could be obtained when a raw powder with a Ti(C<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>) composition was used (Fig. 4).

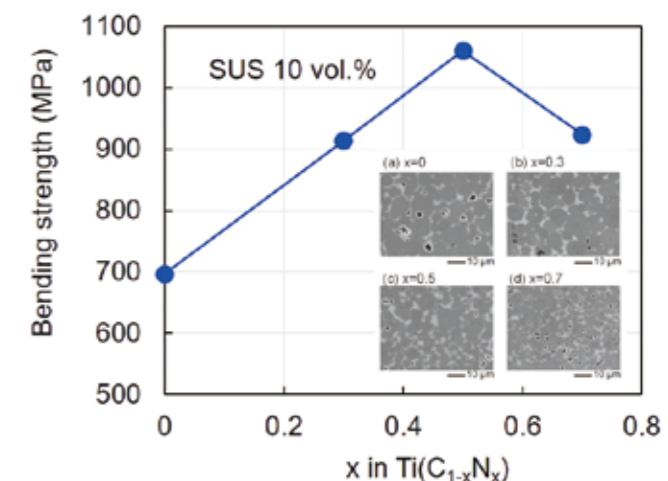


Fig. 4 Bending strength and microstructure of Ti(C<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>)-SUS316L composites.