

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。鉄は何度も再使用が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 C, Al, Si は水素脆化への影響は小さい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。

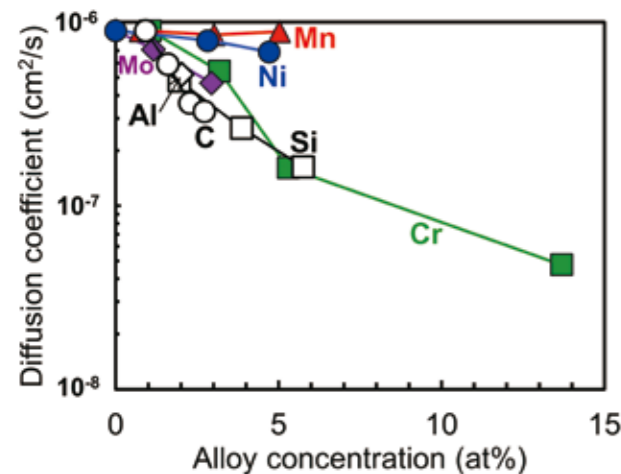


Fig. 1 Hydrogen diffusion coefficient D as function of alloy concentration.

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 C, Al, and Si do not affect HE. These results led to the selection of appropriate steel or development of new steel resistant to HE.

Molecular dynamics analysis on formation mechanism of close-packed metallic polytypes

Molecular dynamics simulations are employed to investigate stress-induced phase transitions in close-packed (CP) polytypes via Bain path

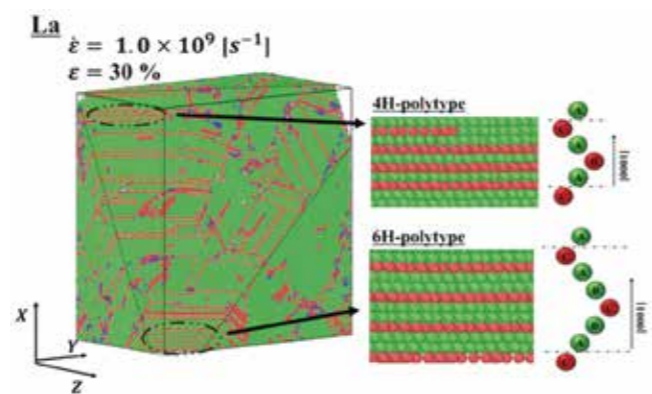


Fig. 2 Formation of 4H and 6H polytypes due to twin boundary ordering in La system simulations.



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

金属最密積層多形の形成機構に関する分子動力学解析

分子動力学計算を用い、Bain 変形を通じた応力誘起による最密積層多形の相転移を解析し、様々な材料で現れる最密積層多形の形成機構を検討した。大格子歪 (LLS: Large Lattice Strains) のエネルギー曲面を活用し、相転移に伴う動的プロセスと静的エネルギー緩和を統合的に評価した。その結果、歪速度に依存した相転移経路の分岐が明らかとなり、低歪速度では双晶形成を伴う長周期積層構造 (4H, 6H) が生成され、高歪速度では Burgers 機構が支配的となることが示された。この経路分岐は格子動力学的不安定性と深く関連しており、過剰歪状態下での微視的なエネルギー緩和過程が明らかとなった。(Fig. 2)。

鉄鉱石焼結プロセスにおける省エネ技術

日本製鉄で開発された再点火焼結技術 (REMO-tec) において、焼結層上層 130mm において焼結用炭材使用量の大幅削減 (配合比 4.1 \Rightarrow 2.9mass%) および高被還元性鉱物 (Fe_2O_3 , SFCA I) 形成を、50kg 焼結試験より確認した。結論として、焼結鉱品質 (強度、被還元性) を維持しつつ省 CO_2 の有効性が検証された (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。炭窒化チタン (Ti(C, N)) とステンレス鋼 (SUS316L) の焼結複合材料について、SUS 添加量や Ti (C, N) 中の窒素含有量、焼成条件が、微細組織や機械特性に与える影響を明らかにした。焼結体の緻密化および Ti(C, N) 結晶粒の微細化により、1200 MPa を超える高い曲げ強度が得られた (Fig. 4)。

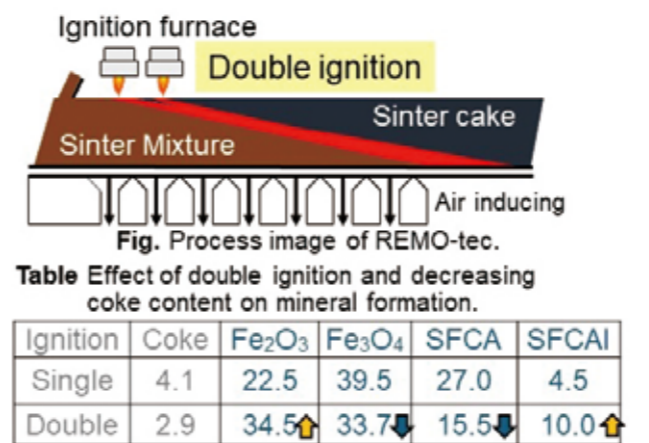


Fig. 3 Effect of holding temperature and CaO concentration on sinter reducibility.

deformation, aiming to elucidate their formation mechanisms across various material systems. Energy surfaces associated with large lattice strains (LLS) are utilized to comprehensively assess the dynamical processes and static energy relaxation involved in these transitions. The results reveal a strain rate-dependent bifurcation in phase-transition pathways: at low strain rates, long-period stacking ordered structures (4H, 6H) form via localized twinning, whereas at high-strain rates, the Burgers mechanism predominantly governs the transition. This bifurcation is strongly correlated with lattice dynamical instabilities, providing valuable insights into the microscopic energy-relaxation processes under excessive strain conditions (Fig. 2).

Energy-saving technique in the iron ore sintering process

Regarding the reignition sintering technique (REMO-tec), developed by Nippon Steel Co., it has been confirmed that reducing the coke breeze ratio (from 4.1 mass% to 2.9 mass%) and promoting highly reducible minerals (Fe_2O_3 , SFCA I) formation at the upper 130 mm in the sintering packed bed have been confirmed from the 50-kg scale sintering test. In conclusion, effective decreasing CO_2 emission with maintaining sinter qualities (strength and reducibility) has been confirmed (Fig. 3).

Development of high-reliability ceramic-metal composites

For the purpose of improving the mechanical properties and reliability of fine ceramic materials, we studied novel ceramics and metal composites. For the sintered Ti(C, N)-SUS316L composites, the effects of the amount of SUS, the nitrogen content in Ti(C, N), and the sintering conditions on the microstructure and mechanical properties have been clarified. High bending strength exceeding 1,200 MPa could be obtained with the densification of sintered bodies and grain refinement of Ti(C, N) phase (Fig. 4).

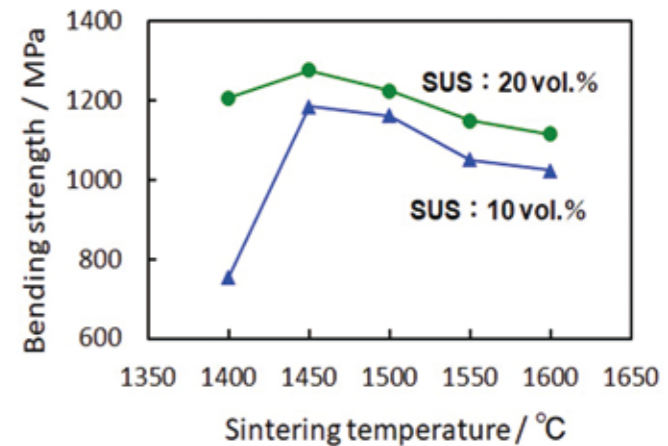


Fig. 4 Relationship between bending strength and sintering temperature of $Ti(C_{0.7}N_{0.3})$ -SUS316L composites.