

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 Co, W 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。

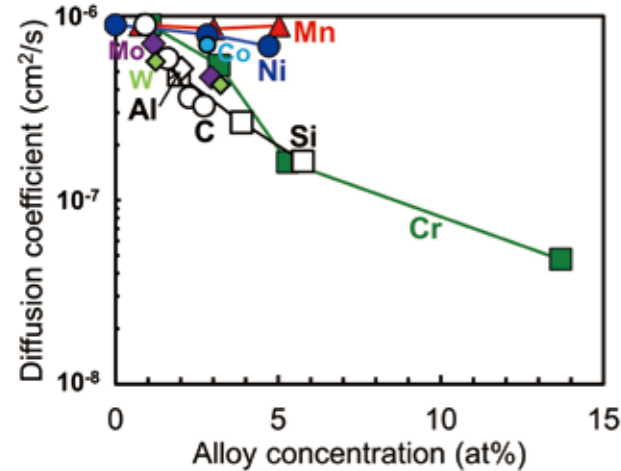


Fig. 1 Hydrogen diffusion coefficient D as function of alloy concentration.

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

We have conducted research on and development of high-performance steel from the blast furnace process, such as high-strength steel for hydrogen systems, infrastructure, or automobiles that 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 Co and W do not affect HE. These results led to the selection of appropriate steel or development of new steel resistant to HE.

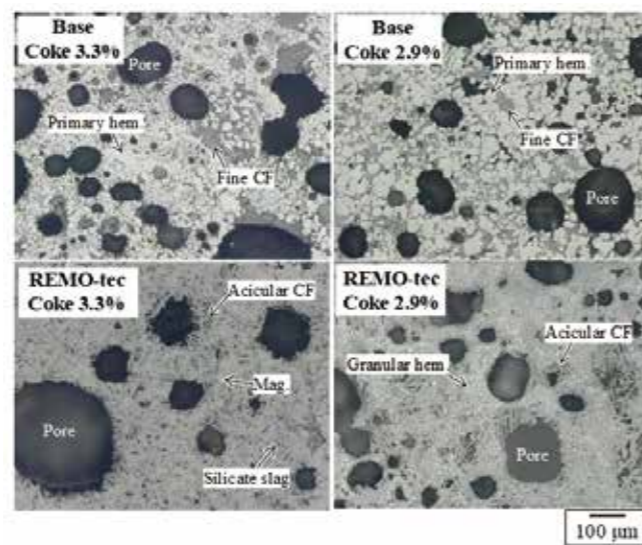


Fig. 2 Effect of re-ignition on promoting acicular calcium ferrite (CF) formation in sintered ore.



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

鉄鉱石焼結プロセスにおける省エネ技術

REMO-tec は、日本製鉄が開発した技術で、初点火後、所定時間経過後に再点火する焼結法である。この方法は高い還元性を維持しながら焼結鉱石の歩留まりを向上させるため、高炉および焼結における CO_2 排出削減に貢献する技術である。本研究では、この効果を裏付けるため、焼結鉱の鉱物組織および気孔組織に与える影響を光学顕微鏡および画像処理を用いて調査した。

その結果、REMO-tec は、低コークス配合 (3.3%および 2.9%) 下においても、 1200°C 以上の高温保持時間延伸を介して、被還元性の高い針状カリウムフェライトの形成 (Fig. 2)、および直径 $200\ \mu\text{m}$ 以下の気孔形成を促進することを明らかにした。併せて、この研究を通じて、焼結鉱の被還元性は $200\ \mu\text{m}$ 以下の気孔体積と正相関を有すると整理された。

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および信頼性の向上を目的として、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。本研究では、炭窒化チタン ($\text{Ti}(\text{C},\text{N})$) とステンレス鋼 (SUS316L) からなる焼結複合材料を対象に、SUS の添加量、 $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ 中の窒素含有量、および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。機械強度を向上させるためには、焼結体の緻密化、 $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ 結晶粒の微細化に加えて、微細組織の均一化が重要であることが分かった。作製条件を最適化することで、従来のセラミックス材料を大きく上回る、破壊靱性 $20\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 、曲げ強度 $1300\ \text{MPa}$ という優れた機械特性を実現した (Fig. 3)。

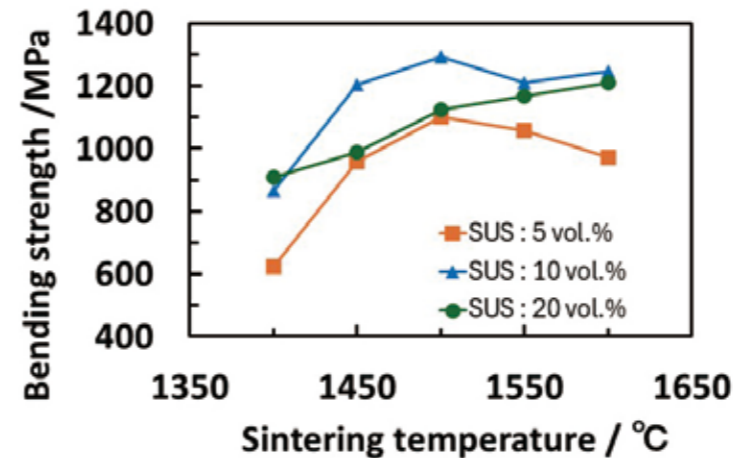


Fig. 3 Relationship between bending strength and sintering temperature of $\text{Ti}(\text{C}_0\text{N}_0)$ -SUS316L composites.

Energy saving technique in the iron ore sintering process

REMO-tec is a technology developed by Nippon Steel, which is a reignition method after a certain period following the initial ignition. This method helps reduce CO_2 emissions in blast furnaces and sintering by improving the yield of sintered ore while maintaining high reducibility. In this study, to support this effect, the impact on the mineral and pore structures of sintered ore was investigated using optical microscopy and image processing. As a result, it was revealed that REMO-tec promotes the formation of highly reducible needle-like calcium ferrite (Fig. 2) and pores with a less than $200\text{-}\mu\text{m}$ diameter through the extension of high-temperature retention above 1200°C , even under low-coke blends (3.3%, 2.9%). Additionally, it was confirmed that the reducibility of sintered ore positively correlates with the volume of pores smaller than $200\ \mu\text{m}$.

Development of high-reliability ceramic-metal composites

To improve the mechanical properties and reliability of fine ceramic materials, we have been conducting research on novel ceramic-metal composite materials. In this study, we investigated sintered composites composed of titanium carbonitride ($\text{Ti}(\text{C},\text{N})$) and stainless steel (SUS316L), focusing on the effects of the SUS content, the nitrogen content in $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$, and the sintering conditions on the microstructure and mechanical properties. Our findings clarified that, in addition to densification of the sintered body and refinement of $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ grains, achieving a uniform microstructure is crucial for enhancing mechanical strength. By optimizing the fabrication conditions, we achieved excellent mechanical properties, including a fracture toughness of $20\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ and a bending strength of $1300\ \text{MPa}$, which significantly exceed those of conventional ceramic materials (Fig. 3).