

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。これは国連で定めたSDGs (Sustainable Development Goals、持続可能な開発目標) にも整合する。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。また、建築物や自動車の軽量化のため高強度鋼の需要が増しているが、高強度鋼では水素による脆化が問題となる。本研究室では鋼中の主要合金元素の Cr と Mo の影響を検討している。焼入れまおよび焼入れ焼戻しマルテンサイト鋼において、Cr と Mo は水素拡散係数 D を低下させること (Fig.1) や、さらには Cr, Mo による D の低下が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。

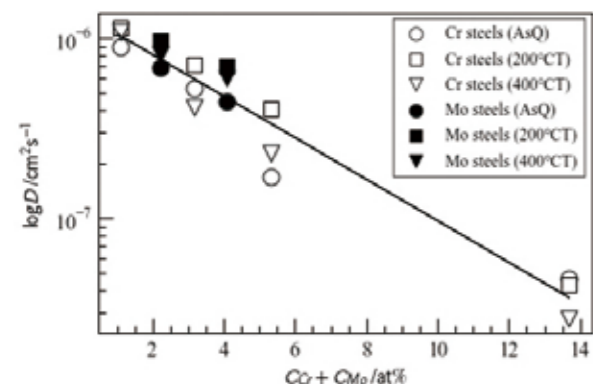


Fig.1 Hydrogen diffusion coefficient D as function of alloy concentration.

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

We have conducted research and development of high-performance steels from the blast furnace process, such as high-strength steels for hydrogen systems, infrastructure, or automobiles, which are friendly to the global environment. This complies with the United Nations' Sustainable Development Goals. High-pressure gaseous hydrogen, a clean energy carrier, is used in fuel cell vehicles (FCV) and hydrogen stations that supply hydrogen to FCVs. Steels used for highly pressurized hydrogen systems should have both high strength and sufficient resistance to hydrogen embrittlement (HE). Additionally, demand for high-strength steels is increasing for weight reduction of infrastructure and automobiles. An increase in strength may cause embrittlement due to hydrogen absorption. In this study, effects of Cr and Mo, the main alloying elements in steel, were investigated. Our work clarified that Cr and Mo decrease the hydrogen diffusion coefficient D in water-quenched and subsequently tempered martensitic steels. Furthermore, we confirmed that the decrease in D by adding Cr and Mo promotes HE. These results lead to selection of appropriate steels or development of new steels that are resistant to HE.



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

金属系ポリタイプの形成機構に関する理論物性研究

Mg 合金では、積層多形 (ポリタイプ) をベースとするシンクロ型 LPSO 構造、キンクバンド強化機構の発見といった新しい材料科学的知見が我が国から発信され、構造材料としての実用化のみならず、他の材料での機能創出への横展開につながることを期待される。ポリタイプの相安定性予測は、物性物理学や材料科学における永年の未解決問題でもある。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という事実に起因する。我々は、10H-LPSO 型 Mg-Zn-Y 合金における侵入型 Mg 原子の安定サイトをベイズ最適化も利用した第一原理計算で探索。実験で観測されている $L1_2$ クラスタ中心が最安定な Mg 侵入位置であることが分かった (Fig.2)。

鉄鉱石焼結プロセスにおけるバイオマス炭利用

高鉄品位な微粉鉄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。従来熱源である粉コークスと比較して、バイオマス炭は燃焼速度が高いことが知られているが、焼結組織に及ぼす影響に関する検討は少ない。そこで、まず、焼結層を模擬した充填層燃焼試験より、バイオマス炭使用における温度履歴が、高到達温度かつ急速降温の特徴を示した。それを踏まえ、焼結原料組成に調整した試薬タブレットの電気炉焼成実験において、到達温度を高めても冷却速度が速ければ、焼成後タブレット中に多くの気孔を分散配置できることを知見した (Fig.3)。気孔数増加は、高炉における還元反応を高める効果が期待される。

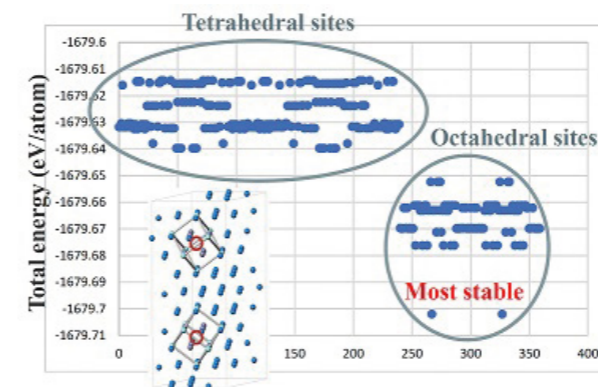


Fig.2 Theoretical search for the most stable site of interstitial Mg atom in 10H-LPSO Mg-Zn-Y alloy based on first-principles calculations.

Theoretical study on formation mechanisms of metallic polytypes

Synchronized long-period stacking-ordered (LPSO) structures (i.e., polytypes) and their kink-band strengthening mechanism for Mg alloys have been discovered in Japan. The knowledge of recent Mg-based alloys is not only expected to be adapted for practical applications but also used for horizontal development to create new functions in other materials. Predicting polytype phase stability for a material has been a long-standing issue in condensed matter physics and materials science. This situation stems from the fact that the atomistic interactions on polytype energetics, surprisingly, might be quite complex and delicate, despite the simplicity of the geometrical structure. We have searched for the most stable site for the interstitial Mg atom in the 10H-LPSO Mg-Zn-Y alloy based on the first-principles calculation along with Bayesian optimization. The center site in the $L1_2$ cluster is found to be the most stable site for the interstitial Mg atom, which was actually pointed out by the experiment observation (Fig.2).

Utilization of biomass char in iron ore sintering process

Using high-grade fine iron ore and biomass is effective to reduce environmental load. It has been clarified that biomass char has a higher combustion rate than coke breeze, but there are few studies on its effect on the sinter mineral matrix. First, it was found that temperature profile using biomass char showed the characteristics of reaching a higher temperature and higher cooling rate, from the packed bed combustion test simulating the sintering layer. Based on the findings from the electric furnace test, which involves sintering the reagent tablet adjusted to a sinter raw material chemical composition, many pores were found to remain in the tablet at the high cooling rate, even if the temperature reached is high (Fig.3). The high number of pores in sinter is expected to have high reducibility in a blast furnace.

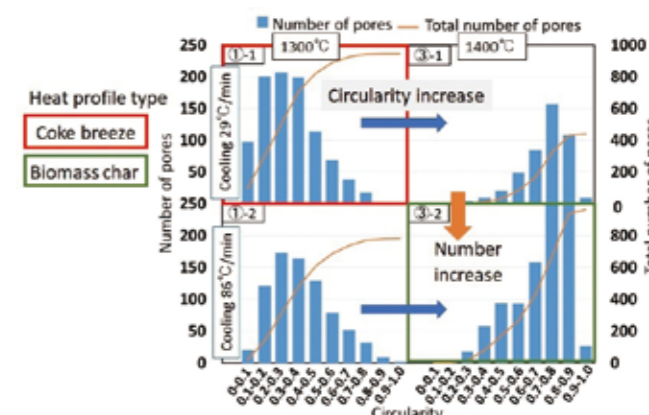


Fig.3 Influence of heat profile on characteristic of pore in sinter (electric furnace experiment)