

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。最近ではさらに震災や水害などの災害に対抗できる高機能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. High-performance steels, which can effectively resist disasters, including earthquakes and floods, are in particularly high demand. 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、かねてから海洋油濁の防止に貢献する衝突安全性に優れた船体用高延性鋼板などのように、地球環境を最大限配慮した高機能鉄鋼材料を高炉から製造するプロセス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。一方で、最近、温室効果ガスの排出削減を目的として、一部自治体では、建築構造用鉄鋼材料に鉄スクラップをリサイクルして作られる電炉材の使用を推奨している。スクラップから精錬時に除去が困難なスズなどの不純物が混入するので、鉄鋼製品の使用性能にこのような元素が及ぼす影響を明らかにしておくことが鋼構造物の健全性を担保するうえで必要である。スズは厚板のZ方向(板厚方向)の靱性を著しく劣化させる(Fig.1)。さらに溶接熱影響部靱性に及ぼすスズの影響を定式化し、炭素の単位量増加による影響に比べ、スズの影響は1/9程度に相当する。

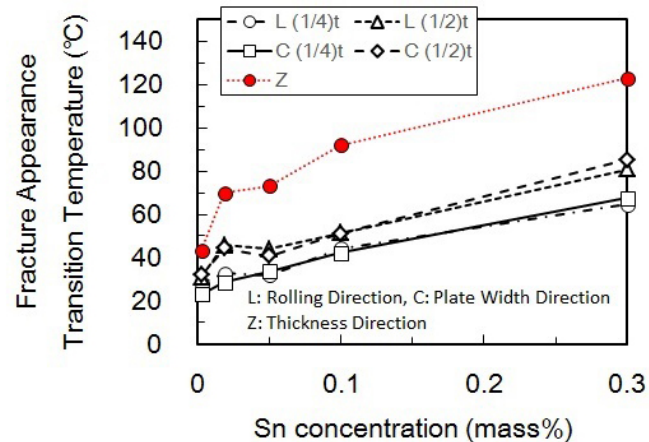


Fig.1 Influence of Sn on toughness of steel.

Structural steels for safe and secure society adapting to the environment

We have been developing high-performance steels, such as highly ductile steels for shipbuilding with excellent crashworthiness, that prevents marine pollution, from the blast furnace process. This complies with the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs). Some authorities promote the use of electric furnace steels for building structures, which utilise recycled iron scrap in order to reduce greenhouse gas emissions. Since impurity elements (e.g., Sn), which are difficult to be reduced via refining processes, are introduced to steel products from scrap, their influence on application performance must be carefully identified in order to secure the soundness of steel structures. We showed that Sn apparently deteriorates toughness in the plate thickness direction z (Fig.1). We also quantify the engineering factors how Sn's influence on weld heat affected zone toughness. The magnitude of the influence of the unit increase in Sn on HAZ is in the order of 1/9, compared to that of carbon.

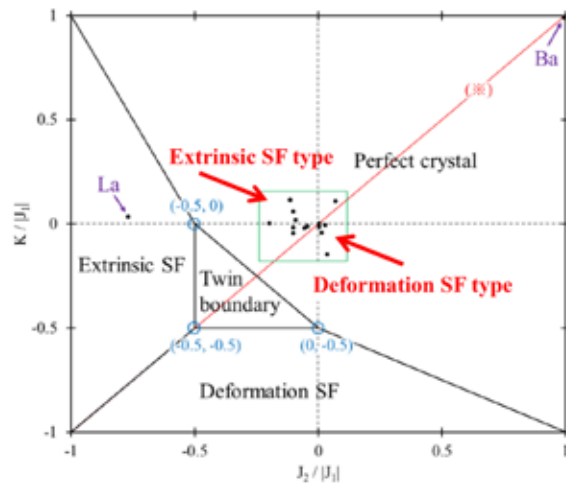


Fig.2 ANNNI phase diagram for SF.



客員教授 市川 和利 Professor Kazutoshi Ichikawa
客員教授 森口 晃治 Professor Koji Moriguchi
客員教授 松村 勝 Professor Masaru Matsumura

金属系ポリタイプの形成機構に関する理論物性研究

環境負荷軽減の軽量材料として注目される Mg や Al 等の非鉄軽金属元素は、鉄鋼材料におけるめっきの耐食性を高める機能付加元素としても知られる元素系である。Mg 合金では、積層多形 (ポリタイプ) をベースとするシンク口型 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も期待されている。ポリタイプは、積層欠陥とのアナロジーが見られる材料内部の不均一性と考えることができる。積層欠陥に起因する高機能構造材料のさまざまな現象を理解し、機能性付加元素を使用する新しいルートを探索するために、我々は非鉄金属元素の機能発現機構に関する理論的研究を行っている。第一原理計算と ANNNI (Axial Next-Nearest Neighbor Ising) モデルを利用した計算解析から、ポリタイプ形成における母相の金属元素は、層間相互作用の観点から合理的に分類できることがわかった (Fig.2)。

マグネタイト微粉鉱石を活用した焼結鉱組織制御

実験室検討において、低酸化度鉄源としてマグネタイト鉱石に着目し、石灰石や粉コークスと遠隔配置によって、焼結鉱還元性および冷間強度の双方が改善する可能性を示唆する結果を得た。具体的には、マグネタイト鉱石と高 Al₂O₃ 鉱石および造粒に必要最小限の生石灰を別系統で造粒する分割造粒法の効果を実験室規模の焼結試験で評価し、以下の知見を得た。(1) 上記分割造粒を採用すると、焼結鉱中の二価の鉄イオン減少および三価の鉄イオン増加が確認された。これはマグネタイト鉱石の酸化促進を意味する。(2) 焼結鉱組織は、気孔統合抑制、気孔低円形度、鉱物微細化等の溶融抑制の特徴を示した (Fig.3)。(3) 上記 (1) (2) より、溶融反応抑制がマグネタイト鉱石酸化を促進し、その酸化熱増大により強度向上、および還元性の良好な微細ヘマタイト形成に結び付いた。

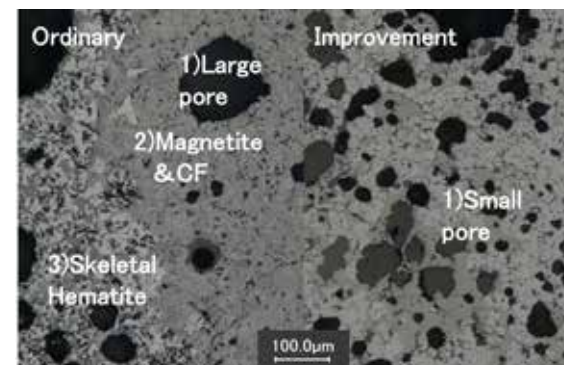


Fig.3 Sinter microstructure.

Theoretical study on the formation mechanisms of metallic polytypes

Nonferrous metallic elements such as Mg and Al, which are attracting attention as lightweight materials for reducing environmental load, are also known as functional chemical elements that enhance the corrosion resistance of Zn plating on steel. Notable material science knowledge, such as about synchronized long-period stacking-ordered (LPSO) structures (i.e., polytypes) and their kink-band strengthening mechanism, has been discovered and accumulated in Japan. The knowledge of recent Mg-based alloys is therefore expected to be not only adapted for practical applications but also used for horizontal development, to create new functions in other materials. The polytypes can be considered as heterogeneity in materials, with the analogy of stacking faults (SFs). In order to understand the various phenomena of high-performance structural materials resulting from stacking faults and to explore new routes for using functional chemical elements, we have theoretically investigated the mechanisms of the functional development of nonferrous metallic elements. Based on first-principles analyses along with the axial next-nearest neighbor Ising (ANNNI) model, metallic elements of the parent phase in the polytype formation can be reasonably classified, from the perspective of interlayer interactions (Fig. 2).

Sinter structure control using magnetite ore fines

A laboratory-scale study suggested the possibility of improving the reducibility and strength of sinter through magnetite fine separated from limestone and coke fine in a sinter-packed bed. Specifically, a separate granulation method was examined, in which magnetite ore fines and high Al₂O₃ iron ore were blended with the minimum amount of quicklime necessary for granulation in the separating granulation route. The following findings were obtained: (1) the separate granulation system shown above decreases ferrous (Fe²⁺) oxide and increases ferric (Fe³⁺) oxide in sinter. These findings indicate promoting the oxidation of magnetite ore. (2) The sinter structure has restricting pore integration, low pore circularity, and fine minerals, which were matched with melt suppression during sintering (Fig.3). (3) From (1) and (2), melt suppression promoted the oxidation of magnetite ore. Then, increasing heat generation by oxidation reaction caused higher sinter strength, and forming oxidized fine hematite mineral caused higher sinter reducibility.

