

補助事業番号 2017M-155

補助事業名 平成29年度 極低熱膨張・高クリープ強度型フェライト系耐熱鋼材料の組織設計に関する研究補助事業

補助事業者名 東京工業大学 物質理工学院 小林覚

## 1 研究の概要

本研究は、フェライト系耐熱鋼のクリープ強度の低さの本質である体心立方構造を有するフェライト母相に由来する高い拡散係数(拡散速度)に着目し、それを低減させた低拡散係数型の高クリープ強度型フェライト系耐熱鋼の創成を目指す。また、フェライト系耐熱鋼の本来の長所である低熱膨張特性を更に向上させ、高クリープ強度と低熱膨張特性を併せ持つフェライト系耐熱鋼を創成するための材料設計指針を確立する。

## 2 研究の目的と背景

フェライト系耐熱鋼は高強度・安価・低熱膨張係数等の長所を有するため、オートバイ・自動車等の排気系部材や超々臨界圧発電プラント等の高温部材に広く使用されている。しかし、燃費向上の要請による各高温部材の高温化に伴い、従来使用されているフェライト系耐熱鋼ではクリープ強度が不足し、Ni基超合金やオーステナイト系耐熱鋼の使用が必要不可欠となると一般的には考えられている。しかし、熱疲労特性(熱膨張特性)および製造性・コストの観点からNi基合金やオーステナイト系耐熱鋼よりもフェライト系耐熱鋼の使用が望ましい。本研究は、フェライト系耐熱鋼のクリープ強度の低さの本質である体心立方構造を有するフェライト母相に由来する高い拡散係数(拡散速度)に着目し、それを低減させた低拡散係数型の高クリープ強度型フェライト系耐熱鋼の創成を目指す。また、フェライト系耐熱鋼の本来の長所である低熱膨張特性を更に向上させ、高クリープ強度と低熱膨張特性を併せ持つフェライト系耐熱鋼を創成するための材料設計指針を確立する。

具体的には、磁気変態点の制御により、フェライト系耐熱鋼の拡散係数を低減させてクリープ強化を狙うとともに熱膨張係数の低減を図った。本研究期間内では、Fe-Cr系に純鉄のキュリー温度を上昇させる効果を持つCoを添加したFe-Cr-Co系に着目し、以下の研究項目を実施した。

- (1) Fe-Cr-Co3元系のFeリッチ側の広い組成範囲の線熱膨張係数を室温～700°Cにおいて評価した。
- (2) Fe-Cr-Co3元系のFeリッチ側の広い組成範囲においてキュリー温度を評価した。
- (3) 高クリープ強度と低熱膨張特性を併せ持つフェライト系耐熱鋼の設計指針を示した。

## 3 研究内容

極低熱膨張・高クリープ強度型フェライト系耐熱鋼材料の組織設計に関する研究

(URL) <http://steel.mtl.titech.ac.jp/cat15/ferrite.html>

(1)フェライト系耐熱鋼の低熱膨張化

Fe-Cr-Co系合金において得られた100°C~700°Cまでの平均線熱膨張係数を図1に示します。この値はCrまたはCoいずれの元素の添加によっても低下する事が分かりますが、複合添加により更なる低下が認められます。本研究より、フェライト鉄の線熱膨張係数の低減を図る上で、合金化によるキュリー温度(磁気エンタルピー)の重要性が確認された他、Feと合金元素間の相互作用の重要性が示唆された。

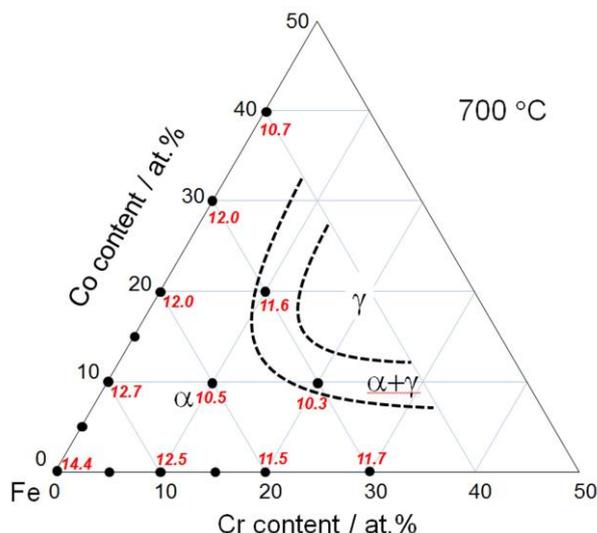


図1 Fe-Cr-Co 三元合金における線熱膨張係数の組成依存性 (図中数字は、100°C ~ 700°Cにおける平均線熱膨張係数を示す。)

(2)フェライト系耐熱鋼の高クリープ強度化

フェライト系耐熱鋼へのCoの添加により、高温におけるクリープ強度(最少クリープ速度)が一桁高くなることを確認した(図2)。この強度がキュリー温度の向上による自己拡散係数の低下に起因するものか今後補足実験により検証する予定である。

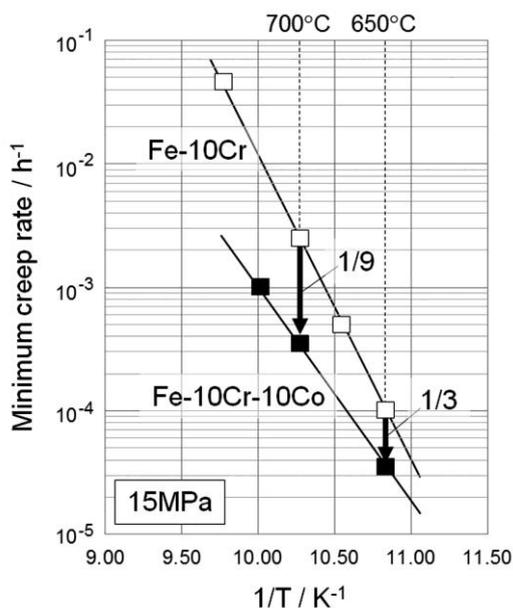


図2 Fe-Cr-Co 三元合金において 15MPa の応力下のクリープ試験により得られた最小クリープ速度のアレニウスプロット (温度依存性)

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

内燃機関の効率を向上させるためにはその作動温度を上昇させることが有効であり、その達成のためには耐熱材料の高温化（高強度化）が不可欠である。一方、内燃機関はその起動停止により熱応力が生じ、それに起因した熱疲労により材料は劣化する。熱疲労による材料劣化は、内燃機関と常温間の温度差の増加や起動停止の繰り返し数の増加により顕著となる。輸送・発電分野の内燃機関の効率向上が求められ、また、火力発電が高負荷変動型の運転を強いられる将来においては、耐熱材料に対する高クリープ強度化と耐熱疲労強度化の両立のニーズはこれまで以上に高まることが予想される。従って、本研究で得られた高クリープ強度と低熱膨張係数を併せ持つフェライト系耐熱鋼の合金設計に関する知見のインパクトは大きく、材料メーカーが実用的な検討を開始することを期待する。また、クリープ特性および熱膨張特性に及ぼすCo添加の効果は基礎的な観点からも興味深く、今後、磁気的効果の観点のみではなく多角的な観点からの検証がなされ、更なる特性向上への道筋が示される可能性も十分予想される。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

自身の研究分野である耐熱合金・金属組織学・強度学をベースに組織・クリープ特性に着目しつつ、今回新たに熱物性(熱膨張特性)の機構解明に取り組んだ研究となる。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等 無し。

#### 7 補助事業に係る成果物

##### (1)補助事業により作成したもの

所属研究室における研究紹介記事

(URL) <http://steel.mtl.titech.ac.jp/cat15/ferrite.html>

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東京工業大学（トウキョウコウギョウダイガク）

住 所： 〒152-8550

目黒区大岡山2-12-1 S8-3

担 当 者： 准教授 小林覚(コバヤシサトル)

担 当 部 署： 物質理工学院(ブッシツリコウガクイン)

E - m a i l: [kobayashi.s@mtl.titech.ac.jp](mailto:kobayashi.s@mtl.titech.ac.jp)

U R L: <http://steel.mtl.titech.ac.jp/>