

# 究極のインバー合金IC-DX

坂口直輝、海野正英、小奈浩太郎、大野晴康、  
横溝勇太、高橋輝実枝、大山吉孝、鎌田貴幸、内藤優樹、脇田宗治、早野裕(NAOJ)

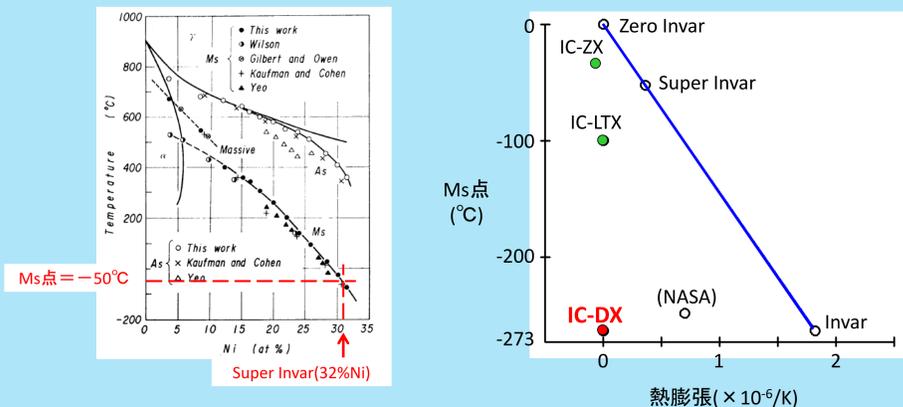
低熱膨張合金のトップメーカー  
新報国製鉄株式会社

## <概要>

Fe-Ni系のインバー合金は低熱膨張と低温組織安定性の両立が困難であった。そこで、Fe-Ni系ではなく、Fe-Co-Cr系の合金で低熱膨張と低温組織安定性が得られる組成を模索した。CoとCr量の最適化により、ゼロ膨張・低温組織安定性を実現した。極低温域(77K)でもほぼゼロ熱膨張であり、極低温(4K)でもマルテンサイト変態しない安定性を確認した。本合金はヤング率もFe-Ni系より約40%高く、Cr含有していることから、耐食性にも優れている。現在TMT望遠鏡のIRISのパッド部分の材料で評価中である。

## インバー合金の課題とIC-DX

Fe-Ni(-Co)系インバー合金は常温ではオーステナイト単相組織であるが、低温下でマルテンサイト変態が起こる。Ni量にてマルテンサイト変態温度(Ms点)は変化する。Super Invar合金は熱膨張係数が小さいが低温安定性がない。



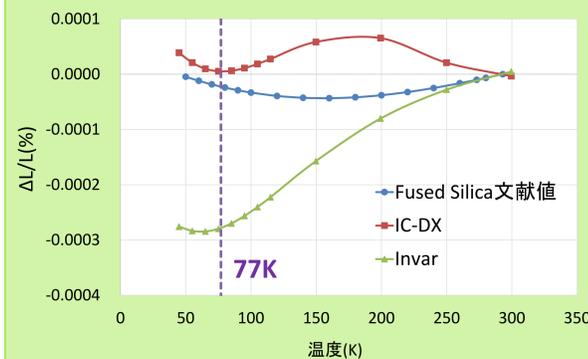
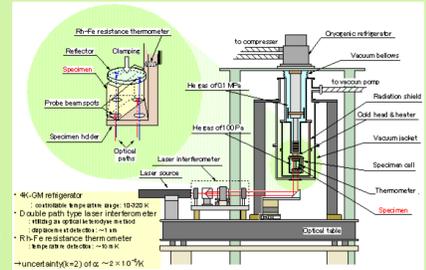
Fe-Ni(-Co)系ではなく、Fe-Co-Cr系の合金で低熱膨張と低温組織安定性が得られる組成を模索した結果

## 究極のインバー合金 IC-DX

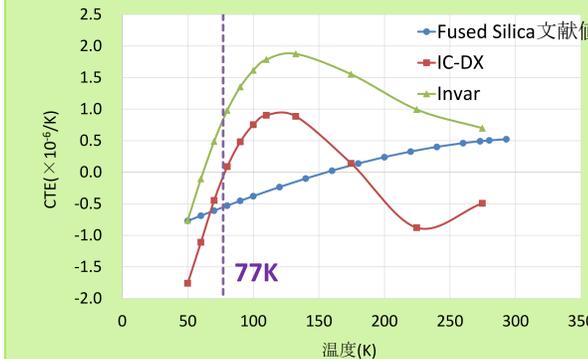
|           |         |                          |   |
|-----------|---------|--------------------------|---|
| インバー合金の課題 | ① 低温安定性 | 低温域でのマルテンサイト変態による低熱膨張の消失 | IC-DX<br>すべての課題を改善できる成分組成<br>極低温域でもゼロ膨張 |
|           | ② 経年変化  | 長期間による寸法変化               |   |
|           | ③ 低ヤング率 | 鉄鋼材料の6~7割程度              |   |
|           | ④ 耐食性   | ステンレス鋼には及ばない             |   |

## 極低温熱膨張測定

測定機関: 産業技術総合研究所  
測定温度範囲: 45K(-228°C)~300K(27°C)  
冷却方法: 極低温冷凍機使用(能力10K)  
試験片サイズ: 20×20×8mm  
試験片加工条件: 20×8面平行度・平面度(鏡面)



|       | 長さ変化率(%) |                     |
|-------|----------|---------------------|
|       | 77K      | ΔFused Silica (77K) |
| IC-DX | 0.00001  | 0.00003             |
| Invar | -0.00028 | -0.00026            |

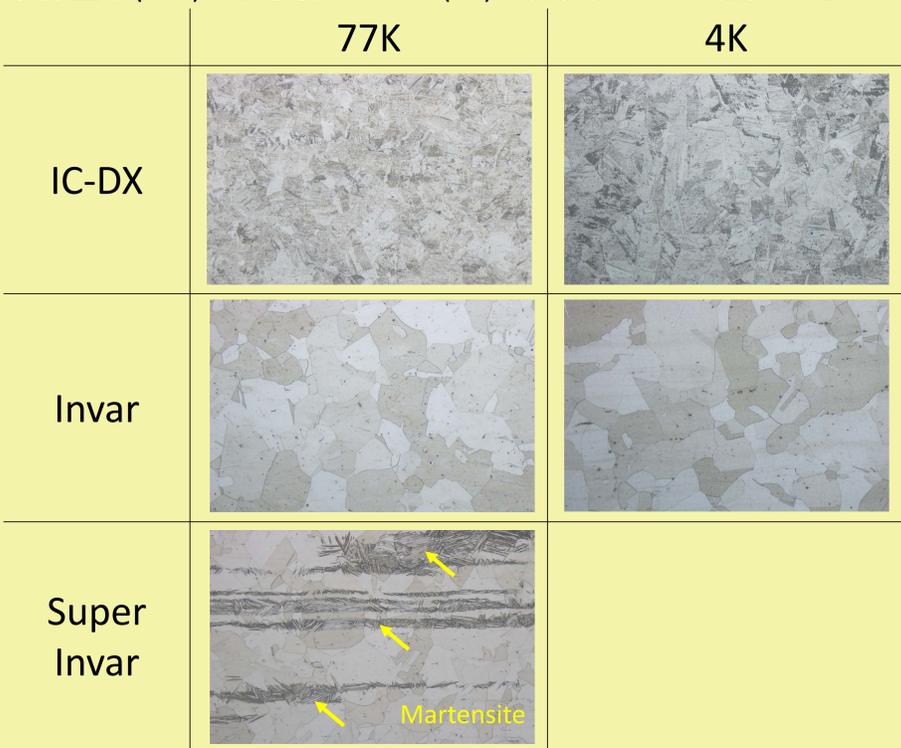


|       | 熱膨張係数【×10 <sup>-6</sup> /K】 |         |                     |
|-------|-----------------------------|---------|---------------------|
|       | 77K ±5K                     | 77~300K | ΔFused Silica (77K) |
| IC-DX | -0.032                      | -0.030  | 0.475               |
| Invar | 0.862                       | 1.271   | 1.391               |

各温度での熱膨張係数(45-300K)

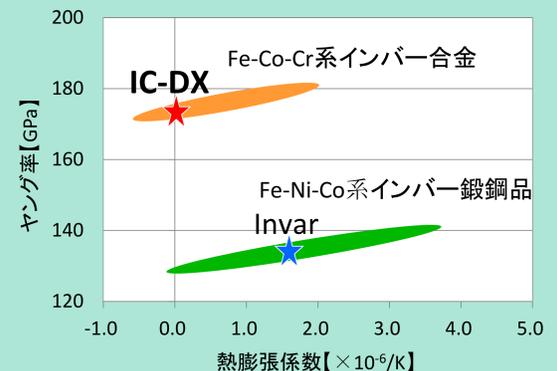
## 低温安定性

液体窒素(77K)及び液体ヘリウム(4K)で浸漬後、マイクロ組織確認



## ヤング率

| 常温特性値                        | 実測値                          |
|------------------------------|------------------------------|
| 熱膨張係数 (×10 <sup>-6</sup> /K) | 23±5°C: 0.16<br>0~60°C: 0.66 |
| ヤング率 (GPa)                   | 177                          |
| 引張強さ (MPa)                   | 575                          |
| 0.2%耐力 (MPa)                 | 213                          |
| 硬さ (HRB)                     | 75.3                         |

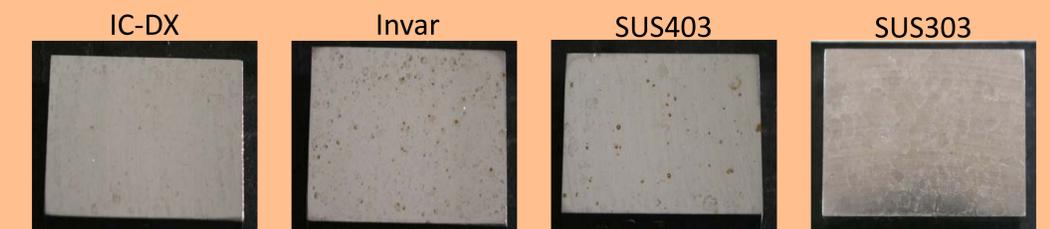


Invar合金の約1.4倍のヤング率

## 耐食性

100%,80°C水蒸気中(電気炉) ⇒ 室内(大気)  
30サイクル後の錆発生状況

IC-DX > SUS403  
【≒SUS303】



## TMT望遠鏡補償光学系IRIS

200角の熔融石英(非球面鏡)を接着するパッドの材料にIC-DXを評価して頂いています。使用温度である77K(液体窒素)及びアライメント調整で常温~77Kの熱膨張が重要であり、IC-DXは熱膨張及び低温安定性に満足している。

