

Mu (μ) 相は、Fe-Mo, Fe-Nb, Fe-Ta, Fe-W, Co-Mo, Co-Nb, Co-Ta, Co-W, Ni-Ta などの二元系において安定な相です。

Fe-Mo 2 元系において Mu 相は安定相であり、第 3 元素を添加することにより、どの方向に Mu 相の領域が伸び、どれだけ固溶するのか興味深い。本書は Mu 相の熱力学モデルについてまとめ、Fe 合金系と Ni 合金系における Mu 相のパラメータを紹介する。

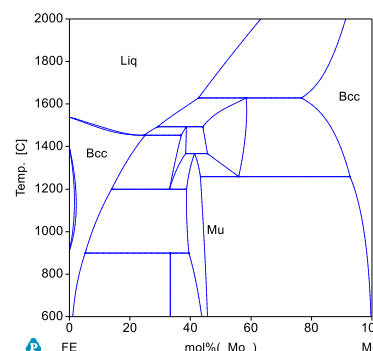
Pearson	Space group	Struktur	Prototype
hR13	R3m	D85	Fe7W6

Fe-Mo 2 元系の Mu 相は 1370°C まで存在する。

Fe-Nb 2 元系の Mu 相は 1523°C まで存在する。

Fe-Ta 2 元系の Mu 相は 1776°C まで存在する。

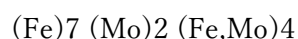
Fe-W 2 元系の Mu 相は 1637°C まで存在する。



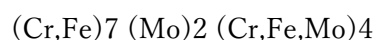
1 Fe-Mo-Cr

Fe-Mo-Cr 3 元系に関しては文献 1988And を参照のこと。

1000°C の等温断面図を右に示す。 Mu 相 Fe_7Mo_6 をラインコンパウンドなら $(\text{Fe})_7(\text{Mo})_6$ 組成幅を持たせるなら、



3 元系なら、

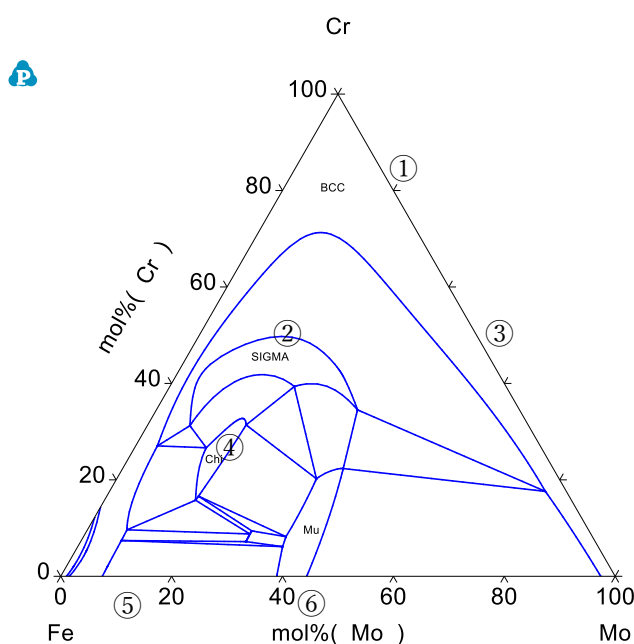


の熱力学モデルとしている。

Mu 相のエンドメンバーは 6 個あり、

- ① Cr:Mo:Cr
- ② Cr:Mo:Fe
- ③ Cr:Mo:Mo
- ④ Fe:Mo:Cr
- ⑤ Fe:Mo:Fe
- ⑥ Fe:Mo:Mo

その位置を図上に示す。



配位数より、第1副格子には Fcc、第2副格子には Bcc、第3副格子には Bcc を基準とする自由エネルギーを設定する。

2 Fe-Mo-Ni

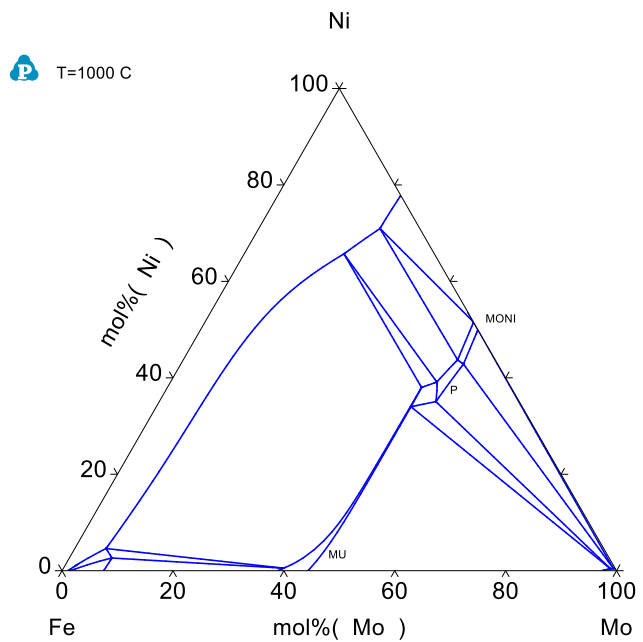
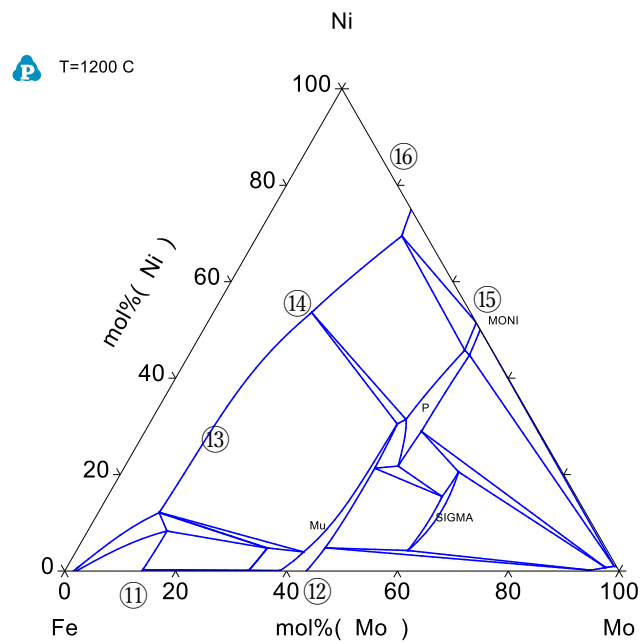
Fe-Mo-Ni 3元系に関しては文献 1992Fri を参照のこと。
1200°Cと 1000°Cの等温断面図を右に示す。

Mu 相 Fe_7Mo_6 を3副格子とし
 $(Fe)_7 (Mo)_2 (Fe,Mo)_4$
 $(Fe,Ni)_7 (Mo)_2 (Fe,Mo,Ni)_4$

の熱力学モデルとしている。
 エンドメンバーは6個あり、

- ⑪ Fe:Mo:Fe
- ⑫ Fe:Mo:Mo
- ⑬ Fe:Mo:Ni
- ⑭ Ni:Mo:Fe
- ⑮ Ni:Mo:Mo
- ⑯ Ni:MoNi

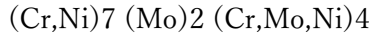
その位置を図上に示す。



3 Cr-Mo-Ni

Mu 相は平衡状態図に現れない。そこで、熱力学パラメータを確認してみる。

Mu 相 3 副格子とし



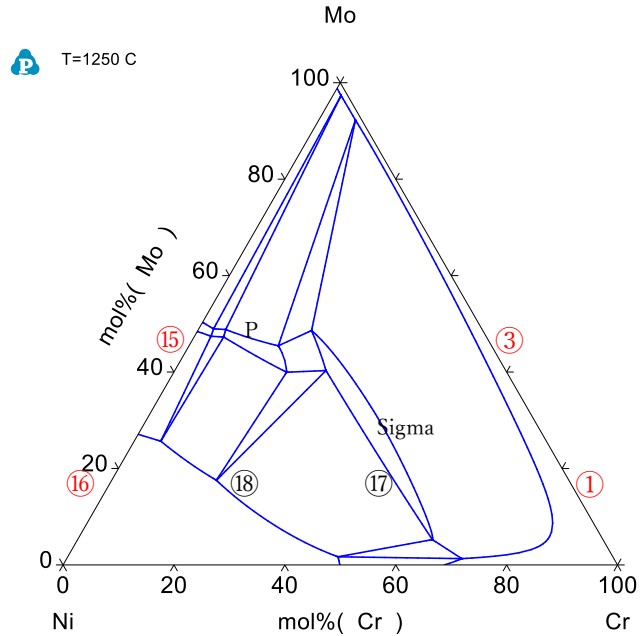
熱力学モデルとする。

エンドメンバーは 6 個あり、

- Cr:Mo:Cr ①
- Cr:Mo:Mo ③
- ①⑦ Cr:Mo:Ni
- ①⑧ Ni:Mo:Cr
- Ni:Mo:Mo ⑤
- Ni:MoNi ⑥

その位置を図上に示す。

①, ③, ⑤, ⑥ は前述と同じパラメータを用いることにする。



エンドメンバー①⑧の自由エネルギーを $\Delta G = 0$ とすると、Mu 相は非平衡になる。

```

  PARA  G(MU,CR:MO:NI;0)  +7*GFCCCR+2*GHSERMO +4*GBCCNI  +0;
  PARA  G(MU,NI:MO:CR;0)  +7*GHSERNI+2*GHSERMO +4*GHSERCR  +0;
  
```

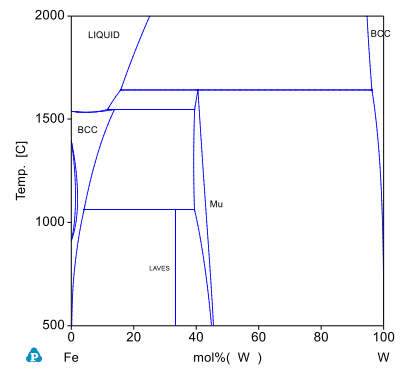
①⑧ の自由エネルギー ΔG に値を設定することで、もしくは③と⑤の間の相互作用パラメータ $L(\text{MU,CR,NI:MO:MO};0)$ に値を設定することで、Mu 相を最適化できる。

2014Yan(J. Nuc. Mat., 448 (2014), 282-293.) は Mu 相のパラメータを載せている。

4 元素 W

Fe-W 2元系状態図を右に示す。

Mu 相 = Fe₇W₆

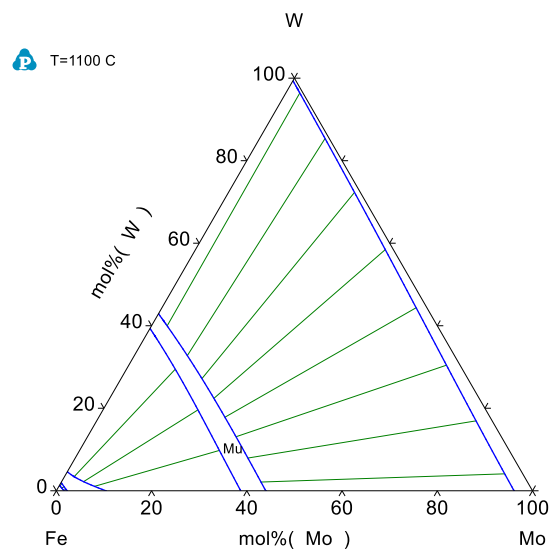


Fe-Cr-W 1988Gus2

Fe-Ni-W 1986Gui

Fe-Mo-W 1988Gus3

1100°Cの等温断面図
を右に示す。

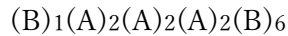


5. Ni - Ta

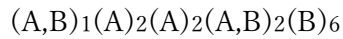
Ni-Ta 2元系の Mu 相 (NiTa) は、1570°Cまで存在する。

副格子		①	②	③	④	⑤
結晶	ワイコフポジション	1(a)	2(c)	2(c)	2(c)	6(h)
Coordination Number	CN	12	15	16	14	12

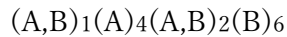
四副格子モデル ① ② ③ ④ ⑤の順に並べ



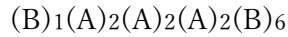
1番目と4番目内で混ざり合う



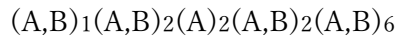
2番目と3番目を統合することで



三副格子モデル

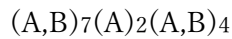


1、2、4、5番目内で混ざり合う

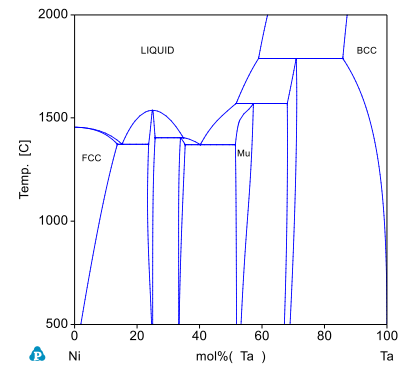
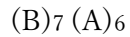


1番目と5番目を統合し、

2番目と4番目を統合



二副格子モデル



Mu 相を $(Ni,Ta)_1(Ta)_4(Ni,Ta)_2(Ni,Ta)_6$

4副格子の熱力学モデルで記述できる。

1994Ans (CALPHAD, 18 (1994), 99-107.) は、

2009Zho (CALPHAD, 33 (2009), 632-641.) は、

2018Zho (Thermochemica Acta, 666 (2018), 135-147.) は、Mu 相を 4副格子モデルとしている。

Mu 相をラインコンパウンドとしている。

Mu 相を 4副格子モデルとしている。

文献：

- 1979Oht Ni-Cr-W 系および Ni-Cr-W-Mo 系合金の組織と高温強度。
太田定雄, 青田健一, 元田高司, 鉄と鋼, 65 (1979), 309-318.
- 1984Rag Determination of isothermal section of nickel rich portion on Ni-Cr-Mo system.
M.Raghavan, et. al., Metall. Transactions A, 15A (1984), 783-792.
- 1986Gui Experimental and theoretical study of the phase equilibria in the Fe-Ni-W system.
A.F.Guillermet, L.Ostlund, Metall. Transactions A, 17A (1986), 1809-1823.
- 1988And An experimental study and a thermodynamic evaluation of the Fe-Cr-Mo system.
J-O. Andersson, N.Lange, Metall. Transactions A, 19A (1988), 1385-1394.
- 1988Gus A thermodynamic evaluation of the Cr-Ni-W system.
P.Gustafson, CALPHAD, 12 (1988), 277-292.
- 1988Gus2 An experimental study and a thermodynamic evaluation of the Cr-Fe-W system.
P.Gustafson, Metall. Transactions A, 19A (1988), 2531-2546.
- 1988Gus3 An experimental study and a thermodynamic evaluation of the Fe-Mo-W system.
P.Gustafson, Zeitschrift fur Metallkunde, 79 (1988), 388-396.
- 1992Fri An experimental and thermodynamic study of the phase equilibria in the Fe-Mo-Ni system.
K.Frisk. Metall. Transactions A, 23A (1992), 639-649.
- 1997Ans Thermodynamic modelling of solutions and alloys. (Sigma, Mu, Laves, Chi)
I. Ansara, et al., CALPHAD, 21 (1997), 171-218.