

フェライト系ステンレス鋼の被覆管内面腐食挙動評価

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)



1987年3月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	J9605 87-002
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

大阪大学工学部原子力工学科

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1987年3月

フェライト系ステンレス鋼の被覆管内面腐食挙動評価 (動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

三宅正宣*

要旨

本報告は、「フェライト系ステンレス鋼の被覆管内面腐食挙動の評価」に関する研究の一部として1986年9月～1987年3月の期間に行われた研究結果を述べたものである。

今回の研究では、高速炉被覆管将来材として注目されているフェライト系ステンレス鋼に加えて、純Fe, Cr及びオーステナイト系ステンレス鋼を対象とし、ヨウ素蒸気との腐食試験を実施した。腐食試験は、温度500～700°C, 時間2～20h, 及びヨウ素蒸気圧0.05Torrで行った。

得られた結果を以下に要約する。

- 1) いずれの材料においても、ヨウ素蒸気により揮発性腐食生成物が生じ、腐食後重量減少が認められた。その腐食は、直線則に従うことが認められ、各温度での腐食速度が求められた。腐食速度は600°Cで最大となった。
- 2) 挥発性腐食生成物は、主としてFeI₂から成っていると推定された。また、Ni及びMoはヨウ化物を形成しにくいことがわかった。
- 3) SEM及びEDXAによる分析結果より、腐食後のステンレス鋼表面には、Ni及びMoから形成される層の存在が認められた。
- 4) 各試料の腐食試験結果から、フェライト系ステンレス鋼よりもむしろオーステナイト系ステンレス鋼の方が耐食性が優れていると評価された。
- 5) 炉内でのステンレス鋼のヨウ素蒸気による腐食挙動を正確に予測するには、ヨウ素蒸気圧依存性等のより詳しい腐食挙動の評価が今後必要である。

本報告書は、大阪大学工学部が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：610D072

事業団担当部課室および担当者：燃料材料開発部 照射燃料試験室（滑川卓志）

* 大阪大学工学部原子力工学科

March, 1987

Evaluation of Cladding Inner Surface Corrosion
of Ferritic Stainless Steel

Masanobu MIYAKE*

Abstract

The present report describes the results of studies performed as a part of research on the evaluation of cladding inner surface corrosion of ferritic stainless steel during a period of September, 1986 ~ March, 1987.

In the present study, corrosion of ferritic stainless steel as one of future materials of cladding for a fast breeder reactor, iron, chromium, and austenitic stainless steel have been examined with iodine vapor. The tests were carried out at a temperature of 500~700°C under a iodine pressure of 0.05 Torr for 2 ~ 20 hours.

The results obtained are as follows:

- 1) For all the materials, iodine corrosion resulted in volatile corrosion products and weight loss of samples. The corrosion is characterized by a linear relationships with time, and the rate was evaluated indicating the maximum at a temperature of 600°C.
- 2) The volatile corrosion products appears to be composed mainly of FeI₂. Iodides were hard to be produced by reaction of Ni and Mo with iodine vapor.
- 3) From analyses by SEM and FDXA, the layer containing Ni and Mo was confirmed to occur on the surface of stainless steel after corrosion.
- 4) The corrosion resistance to iodine vapor was found from the present results to be higher for austenitic than for ferritic stainless steel.

Work performed by Osaka University under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

PNC Liaison : Fuel and Materials Devision, Alpha-Gamma Section
(T. Namekawa)

* Department of Nuclear Engineering, Faculty of Engineering, Osaka University

目 次

1. 緒 言	1
2. 腐食試験	2
2.1 腐食試験試料	2
2.2 腐食試験方法	2
3. 結果及び考察	3
3.1 腐食速度の評価	3
3.2 腐食生成物の分析	4
3.3 腐食層の観察	5
4. 結 論	7

表のリスト

- 表 1 ステンレス鋼の成分
- 表 2 腐食後の重量減少量
- 表 3 腐食速度の合金組成及び温度依存性
- 表 4 振発性腐食生成物中の金属元素量

図のリスト

- 図 1 腐食試験装置の概略図
- 図 2 重量減少量の時間依存性 (600 °C)
- 図 3 腐食速度の合金組成依存性 (600 °C)
- 図 4 重量減少量の温度依存性 (20 時間)
- 図 5 ヨウ素蒸気の解離度
- 図 6 ヨウ化物の平衡蒸気圧 (SUS 304L, ヨウ素圧力 0.05 Torr)
- 図 7 振発性腐食生成物の付着挙動
- 図 8 振発性腐食生成物中の金属元素量の時間依存性 (SUS 304L, 600 °C)
- 図 9 振発性腐食生成物中の金属元素量の温度依存性 (SUS 304L, 20 時間)
- 図 10 腐食後のステンレス鋼の表面 SEM 写真 (600 °C, 20 時間)
- 図 11 腐食後のステンレス鋼の断面 SEM 写真及び EDXA による分析結果

1. 緒 言

高速炉の開発に伴い、被覆管材の高性能化が期待されている。フェライト系ステンレス鋼は耐スエリング性の観点から高速炉被覆管の高性能材として注目されている。高速炉被覆管の性能としては、優れた耐スエリング性、クリープ強度に加え炉内環境での耐食性が要求される。特に、燃料-被覆管化学的相互作用（FCCI）に起因する被覆管内面腐食は、燃料ピンの寿命や高速炉の安全性に直接関係する問題であるため、将来の被覆管材の選定の際の重要な因子となると考えられる。そのため、FCCIの生起条件並びに腐食速度の解析、評価に必要な基礎データを集積することが必要である。

このような見地から、本研究では、高速炉被覆管の将来材として注目されている炭化物析出型フェライト系ステンレス鋼（高強度フェライト／マルテンサイト鋼）を対象とし、そのFCCI感受性を評価することを目的に模擬FPによる炉外腐食試験を実施した。模擬FPとしては、被覆管材成分化学的輸送（CCCT）に関係するとされているヨウ素を取り上げた。また、フェライト系ステンレス鋼に加えて、オーステナイト系ステンレス鋼、純鉄、純クロムについても同様な腐食試験を行い、その結果を比較検討した。

2. 腐食試験

2.1 腐食試験試料

腐食試験に用いた試料は、フェライト系ステンレス鋼として 7 Cr - 1 Mo, 9 Cr - 1 Mo, 11 Cr - 1 Mo, 13 Cr - 1 Mo, オーステナイト系ステンレス鋼として SUS304L, SUS 316 L, SUS 316 相当鋼であった。各試料の成分を表1に示す。また、比較のため純度 99.9 w/o の純鉄、純クロムも試料として用いた。試料は、SUS 316 相当鋼 (6.5 mm ϕ × 0.47 mm t × 10 mm l) 管材以外は、すべて 10 × 10 mm の板状で、その厚さは、SUS 316 L、純鉄、純Crが1mm、SUS 304 Lが1.5mm、7 Cr~13 Cr-1 Moが2mmであった。試料は、機械研磨後、アセトン中で超音波洗浄し、腐食試験に使用した。

腐食試験に用いたヨウ素は、粉末で純度 99.999 w/o であった。

2.2 腐食試験方法

図1に腐食試験に用いた装置を示す。腐食試験は、本装置を用い、 10^{-7} Torr 以下の真空中で試料及び反応系の脱ガスを十分行った後排気系からしゃ断し実施した。腐食試験条件は、ヨウ素蒸気圧 0.05 Torr、反応温度 500, 600, 700 °C、及び反応時間 2~20 h を選定した。なお、ヨウ素蒸気圧は、ヨウ素バスの温度を 5.0 °C で一定とすることにより制御した。

反応前後の試料重量測定並びに反応管低温部に付着した揮発性腐食生成物の原子吸光分析を行った。その際、試料及び腐食生成物の取り扱いは、反応管に附置されたグローブボックス中で Ar 雾囲気下で行った。また、試料の走査型電子顕微鏡(SEM)による観察並びに X線マイクロアナライザー(EDXA)による分析も実施した。

3. 結果及び考察

3.1 腐食速度の評価

ヨウ蒸気と純鉄、純クロム、ステンレス鋼との腐食試験を行った結果、すべての条件において揮発性腐食生成物が反応管低温部に付着していた。また、純Crの500°Cでの結果を除き、他のすべての条件下で反応後試料の重量減少が認められた。反応後の試料の重量減少の測定結果を表2にまとめた。試料の表面積あたりの重量減少量は、純鉄、純クロム、ステンレス鋼によらず時間に対して直線的に増加した。その一例として、600°Cにおける純鉄、純クロム、ステンレス鋼の表面積あたりの重量減少量の時間依存性を図2に示した。いずれの合金についても、重量減少量は時間について直線的に増加し、一定の腐食速度を持つことがわかる。各試料について評価した腐食速度を表3に示す。以上のように、ヨウ素蒸気と純鉄、純クロム、及びステンレス鋼の腐食は、直線則に従って進行すると考えられ、表面反応が律速していると推測できる。

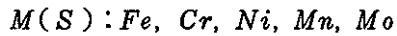
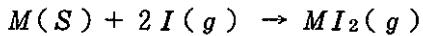
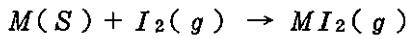
600°Cにおける腐食速度のステンレス鋼の組成依存性を示したのが、図3である。純鉄の腐食速度は、純クロムのそれよりわずかに大きい。フェライト系ステンレス鋼については、クロム濃度により腐食速度は大きく依存せず、純クロムにほぼ近い値となった。オーステナイト系ステンレス鋼の場合、その腐食速度は、フェライト系ステンレス鋼のそれよりかなり小さい。得られた腐食速度は、SUS304Lでは、フェライト系ステンレス鋼の約1/2、SUS316L及びSUS316相当鋼では約1/4となっている。

このように、フェライト系とオーステナイト系ステンレス鋼の腐食速度に大きな差が生じたのは、オーステナイト系ステンレス鋼に含まれるNi及びMoの効果であると考えられる。Ni及びMoは、Fe、Crと比較して固体及び気体ヨウ化物を生成しにくく、このようNi、Moを含有するオーステナイト系ステンレス鋼は、Fe及びCrからなるフェライト系ステンレス鋼と比較してヨウ素蒸気に対する耐腐食性が大きいと予想でき、試験結果とも一致する。

ヨウ素蒸気によるステンレス鋼の腐食速度の温度依存性の一例を図4に示す。この図は、フェライト系ステンレス鋼7Cr-1Mo、13Cr-1Mo及びオーステナイト系ステンレス鋼SUS304Lについての20時間腐食後の試料の表面積あたりの重量減少を温度に対してプロットしたものである。合金あるいは純金属で腐食速度の大小の差はあるものの、いずれの試料においても腐食速度は温度に対して単調に増加するのではなく600°Cで最大となり、700°Cでは腐食が抑制されることが認められた。

先に述べたように、ヨウ素蒸気によるFe、Cr、ステンレス鋼の腐食反応は直線則に従っていた。したがって、この腐食は、純金属又はステンレス鋼成分がヨウ化物蒸気になる次の

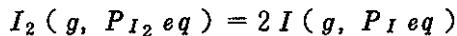
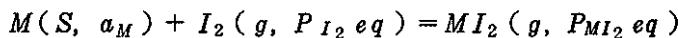
のような表面反応が律速していると考えられる。



ヨウ素蒸気による Fe , Cr , ステンレス鋼の腐食速度が、ヨウ化物蒸気の生成の標準自由エネルギー、すなわち、平衡蒸気圧と直接関係していると仮定すれば、ヨウ化物の平衡蒸気圧を推定することにより腐食速度の温度依存性を評価できることになる。このような仮定の基に、腐食速度の温度依存性の考察を行った。ヨウ素蒸気は、高温では 2 原子分子 I_2 の解離が生じ单原子の I を含む。ヨウ素蒸気の解離度は、次式で計算できる。

$$\log \left(\frac{P_I^2}{P_{I_2}} \right)_{atm} = 3.7362 - \frac{7818}{T} + 0.5284 \log T$$

ヨウ素蒸気の解離度のヨウ素蒸気の全圧について求めたのが図 5 である。本試験の装置形状及び系の温度分布等の条件下では、系内の全圧はヨウ素バスの温度により決まる平衡蒸気圧 $0.05\ Torr$ に保たれていると考えられる。したがって、 $0.05\ Torr$ の全圧のヨウ素蒸気は、 $500^\circ C$ では約 40 %が、 $700^\circ C$ ではほとんどすべてが I の形で存在していることが図 5 より予想される。このようなヨウ素蒸気の解離を考慮してヨウ化物の平衡蒸気圧を計算した。金属 M とヨウ素蒸気がヨウ化物 MI_2 を生成し平衡状態にある場合、平衡反応式は、



と表わされる。ここで、 a_M は金属の活量及び $P eq$ は各々の平衡分圧である。ヨウ化物生成反応の標準自由エネルギー ΔG_f° を用いれば、次の関係式より金属ヨウ化物の平衡蒸気圧を

$$\Delta G_f^\circ = -RT \ln \frac{P_{MI_2 eq}}{a_M P_{I_2 eq}}$$

評価できる。ヨウ化物平衡蒸気圧の計算の一例として、全圧 $0.05\ Torr$ の蒸気とオーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304L との反応系についての結果を図 6 に示す。ここで、ステンレス鋼成分の活量 a_M は、理想溶体を仮定し Fe, Cr, Ni についてそれぞれ $a_{Fe} = 0.697$, $a_{Cr} = 0.198$, $a_{Ni} = 0.095$ とした。この図から、いずれのヨウ化物の平衡圧もある温度で最大を示すことがわかる。実験的に得られた腐食速度の温度依存性と、ヨウ化物の平衡圧のそれはほぼ同様な傾向を示しており、腐食速度とヨウ化物平衡蒸気圧は密接な関係があると推定できる。

3.2 腐食生成物の分析

腐食試験後、すべての試験条件において揮発性腐食生成物の反応管低温部への付着が観察

された。また、腐食温度が低い場合、試料表面にもわずかに腐食生成物が存在することが認められた。これらの腐食生成物は、 Fe , Cr , その他のステンレス鋼成分のヨウ化物であると考えられる。

腐食生成物は反応管の150～470℃の低温部に、フェライト系ステンレス鋼では2個、オーステナイト系ステンレス鋼では3個の帯状となって付着した。図7に示すように、フェライト系ステンレス鋼では、150～350℃に赤紫色、350～470℃に茶色の付着物が、オーステナイト系ステンレス鋼では加えて350℃付近に黒色の付着物が認められた。純鉄、純クロムの付着物の状態と比較して、赤紫及び茶色の付着物は、各々 FeI_2 , CrI_2 であると推定でき、黒色の付着物は NiI_2 であると考えられる。

揮発性腐食生成物の分析は、付着物中の金属を原子吸光分析する方法により行った。原子吸光分析によって得られた付着物中の各金属元素の重量を試料の表面積で割った値を表4に示す。付着物中にMoはほとんど検出されなかった。付着物中の各元素の総量が、腐食後の残料の重量測定結果とほぼ一致することから、いずれの合金においても腐食生成物はほとんどが試料表面から揮発し低温部に付着することが確認できた。

図8は、オーステナイト系ステンレス鋼SUS304Lについて温度600℃での腐食試験後の揮発性腐食生成物中の Fe , Cr , Ni の試料表面積あたりの重量の時間変化を示したものである。いずれの元素についても、その値は時間に対して直線的に増加していることがわかる。したがって、合金系についても各元素とヨウ素蒸気との反応が直線則にしたがっているものと予想される。

図9は、SUS304Lステンレス鋼の20時間の腐食試験後の揮発性腐食生成物中の Fe , Cr , Ni の重量の試料表面積あたりの換算値の腐食温度依存性を示したものである。得られた曲線は、各元素について腐食速度と同様な傾向を示すことがわかった。この図より、揮発性腐食生成物中の Fe の割合がSUS304Lの Fe の組成より大きく、逆に Ni では、その合金組成より小さいことがわかる。このことから、 Ni とヨウ素蒸気の反応が Fe に比べて生じにくくないと推定でき、揮発性腐食生成物中にMoが見出せなかったことから Ni と比べてもMoはさらにヨウ化物蒸気を生成しにくいと考えられる。

3.3 腐食層の観察

図10は、温度600℃、20時間腐食後のステンレス鋼試料表面のSEM写真である。フェライト系ステンレス鋼いずれの表面層も多孔質であると考えられる。フェライト系ステンレス鋼では、比較的凹凸の少ないなめらかな表面を持っており、粒界が見られる。オーステナイト系SUS304L, SUS316では、表面の凹凸が大きいことがわかる。

図11は、腐食試験後のステンレス鋼の断面SEM写真（及びEDXAによる成分分析結果）

である。腐食温度、時間は、各々 600 °C, 20 時間である。フェライト系ステンレス鋼 13Cr-1Mo では、約 $1 \mu\text{m}$ の腐食層が生じており、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304L では、約 $5 \mu\text{m}$ の腐食層が形成されていた。この層は、フェライト系 13Cr-1Mo では Mo が、オーステナイト系 SUS 304L では Ni が多く含まれることが EDXA 分析よりわかった。前述の揮発性腐食生成物の分析より、Ni, Mo は揮発性のヨウ化物を生じにくいと考えられ、EDXA の分析結果と一致する。したがって、SEM により観察された腐食層は、ヨウ化物が揮発した後に形成された残留物層であると考えられる。

ヨウ素蒸気によるステンレス鋼の侵食量を評価する場合、残留する腐食層の厚みからよりも、むしろ、揮発性腐食生成物が生じたことによる侵食厚さにより行った方が妥当であると考えられる。腐食後の試料の重量減少からその侵食厚さは求められる。600 °C 20 時間では 13Cr-1Mo で $88 \mu\text{m}$, SUS 304L で $41 \mu\text{m}$ となった。この値は、SEM 観察より得た残留物層の厚みよりはるかに大きい。

4. 結論

フェライト系ステンレス鋼のヨウ素蒸気による腐食挙動を評価するために、温度 500~700 °C, ヨウ素蒸気圧 0.05 Torr で腐食試験を行った。試料としては、フェライト系ステンレス鋼に加え純 Fe, Cr, 及びオーステナイト系ステンレス鋼を対象とした。

得られた結果を以下に要約する。

1) ヨウ素蒸気による純 Fe, Cr, ステンレス鋼の腐食反応は、揮発性腐食生成物を生ずるものであり、腐食後試料の重量減少が観察された。その腐食は直線則に従い、腐食速度が評価された。その結果、純 Fe, Cr, フェライト系ステンレス鋼に比べオーステナイト系ステンレス鋼がヨウ素蒸気に対する耐食性がよりすぐれていることがわかった。中でも、SUS 316 相当鋼も含めて SUS 316L がもっとも低い腐食性を示した。腐食速度の温度依存性については、いずれの試料においてもその腐食速度が 600 °C で最大となった。

2) 原子吸光分析による揮発性腐食生成物の分析の結果、ステンレス鋼の場合腐食生成物は主として FeI_2 から成ることがわかった。また、腐食後の試料重料測定の結果と原子吸光分析から得た値とが一致することから、試料表面で形成された腐食生成物はすべて揮発していることが確かめられた。

3) SEM 観察により、腐食後ステンレス鋼試料表面には多孔質の残留物層が存在していることがわかった。また、その EDXA 分析から、この層には Ni, Mo が多く含まれていることがわかった。

以上の結果から、高速炉用将来被覆管材として期待されているフェライト系ステンレス鋼は、耐ヨウ素腐食性に関してはオーステナイト系ステンレス鋼に劣ると言える。しかしながら、炉内条件でのこれらのステンレス鋼のヨウ素蒸気による腐食を正確に予測するには、ヨウ素蒸気圧依存性等のより詳しい腐食挙動の評価が必要であると考えられる。今後は、フェライト系ステンレス鋼のヨウ素蒸気に関するさらに広範囲での腐食試験を行うとともに、テルル等の他の FP 元素に対する耐食性の評価も進める予定である。

PNC TJ 9605 87-002

データ集

表1 ステンレス鋼の成分

鋼種	Fe	Cr	Ni	Mn	Mo	C	Si	P	S
7Cr-1Mo	Bal	7.09	0.16	0.51	1.06	0.091	0.10	0.004	0.003
9Cr-1Mo	Bal	8.96	0.08	0.51	1.05	0.089	0.10	0.004	0.004
11Cr-1Mo	Bal	10.98	0.08	0.51	1.03	0.090	0.10	0.005	0.004
13Cr-1Mo	Bal	12.94	0.08	0.51	1.02	0.086	0.11	0.006	0.004
SUS304L	Bal	18.49	9.97	1.02	—	0.019	0.59	0.031	0.011
SUS316L	Bal	17.36	12.13	1.34	2.12	0.018	0.59	0.030	0.003
SUS316相当鋼	Bal	16.50	13.74	1.74	2.50	0.047	0.92	0.003	0.004

表 2 腐食後の重量減少量

試料	温度(°C)	時間(h)	重量減少量(mg/cm ²)
Fe	500	10	51.8
	600	2	8.9
		4	14.4
		7.5	35.3
		10	51.9
	700	2	8.0
Cr	500	10	-1.8
	600	2	7.8
		4	15.7
		10	25.9
		20	57.6
	700	10	23.0
7Cr-1Mo	500	20	15.0
	600	4	18.6
		20	62.1
	700	20	51.5
9Cr-1Mo	600	4	17.4
		20	66.3
11Cr-1Mo	600	4	12.9
		20	59.1
13Cr-1Mo	500	20	6.8
	600	2	8.5
		20	67.6
	700	20	45.8
SUS304L	500	20	4.2
	600	4	7.1
		20	31.5
	700	20	24.4
SUS316L	600	4	5.3
		20	15.3
SUS316 相当鋼	600	20	14.3

表 3 腐食速度の合金組成及び温度依存性

試料	温度(°C)	腐食速度(mg/cm ² ・h)
Fe	500	5.2
	600	4.9
	700	4.0
Cr	500	-0.2
	600	2.9
	700	2.3
7Cr-1Mo	500	0.8
	600	3.2
	700	2.6
9Cr-1Mo	600	3.4
11Cr-1Mo	600	3.0
13Cr-1Mo	500	0.3
	600	3.4
	700	2.3
SUS304L	500	0.2
	600	1.6
	700	1.2
SUS316L	600	0.8
SUS316相当鋼	600	0.7

表 4 挥発性腐食生成物中の金属元素量

試料	温度 (°C)	時間 (h)	原子吸光分析 (mg/cm ²)				重量測定 (mg/cm ²)	
			Fe	Cr	Ni	Mn		
Fe	500	10	46.2	—	—	—	46.2	51.8
	600	2	6.4	—	—	—	6.4	8.8
		4	12.8	—	—	—	12.8	14.4
		7.5	32.3	—	—	—	32.3	35.3
		10	45.0	—	—	—	45.0	51.9
	700	2	6.4	—	—	—	6.4	8.0
Cr	600	2	—	7.8	—	—	7.8	7.8
		4	—	15.2	—	—	15.2	15.7
7Cr-1Mo	500	20	15.8	0.6	—	0.1	16.4	15.0
	600	2	17.3	1.0	—	—	18.2	18.6
		20	59.3	3.2	—	—	62.5	62.1
	700	20	48.0	2.8	—	0.3	51.1	51.5
13Cr-1Mo	500	20	7.7	0.6	—	0.1	8.4	6.8
	600	2	6.9	0.9	—	—	7.8	8.5
		20	60.8	7.0	—	0.1	67.7	67.6
	700	20	41.3	4.7	—	0.2	46.2	45.8
SUS304L	500	20	4.9	0.7	0.5	0.1	6.1	4.2
	600	4	4.4	0.9	0.2	—	5.6	7.1
		20	24.9	5.0	0.7	—	30.6	31.5
	700	20	19.5	4.3	0.5	0.3	24.5	24.4
SUS316L	600	4	3.7	0.8	0.2	—	4.8	5.3
		20	12.4	2.3	1.0	0.2	15.9	15.3

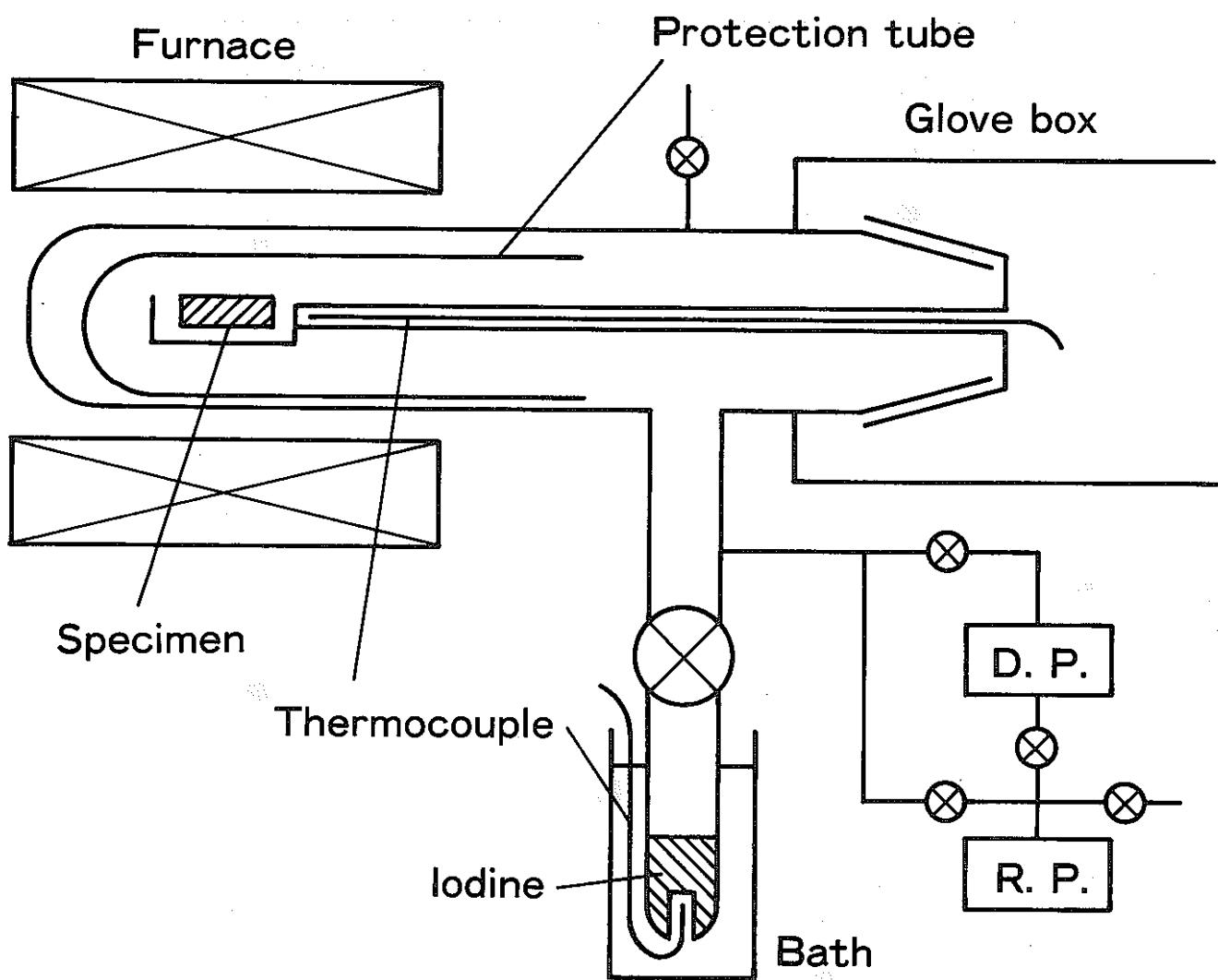


図1 腐食試験装置の概略図

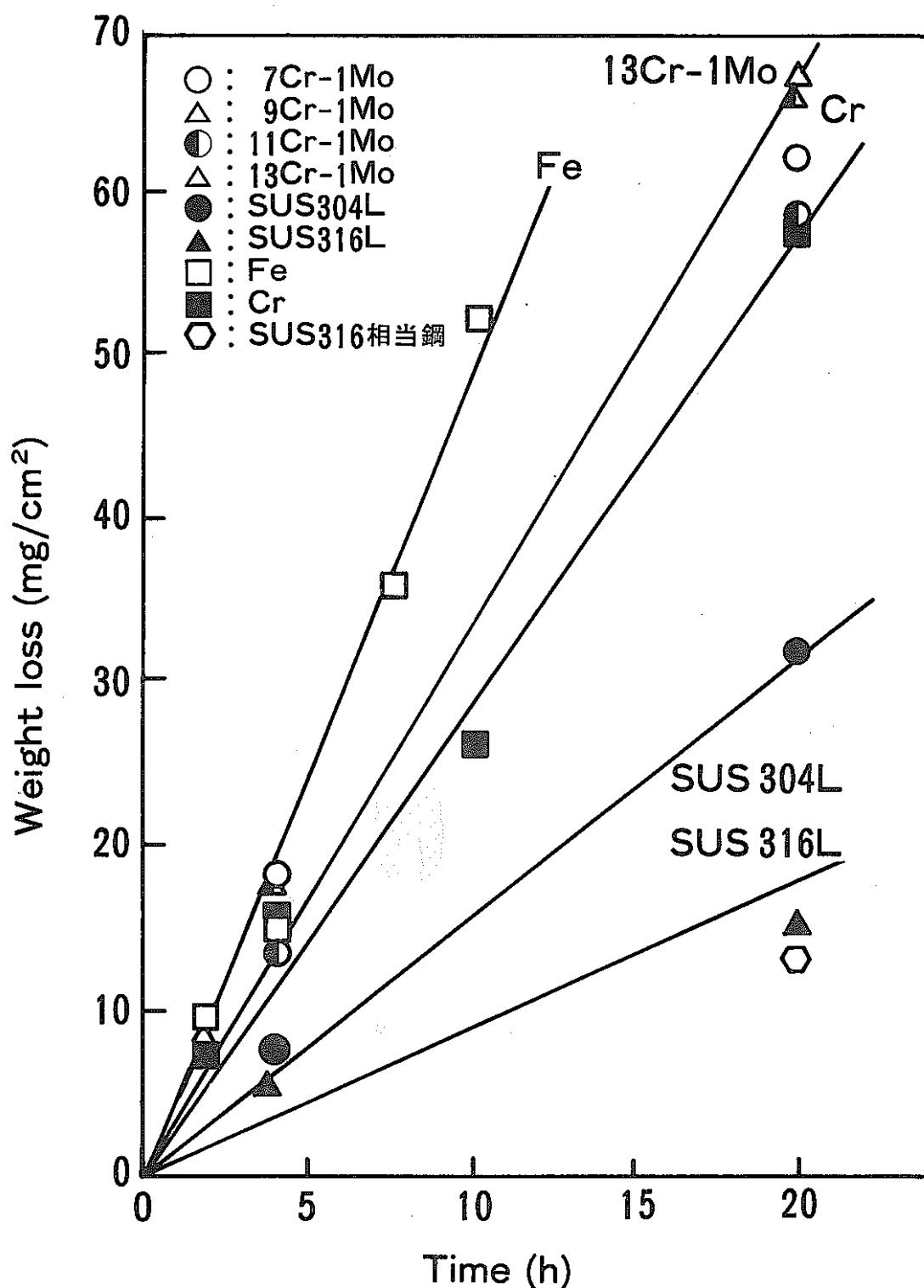


図 2 重量減少量の時間依存性 (600 °C)

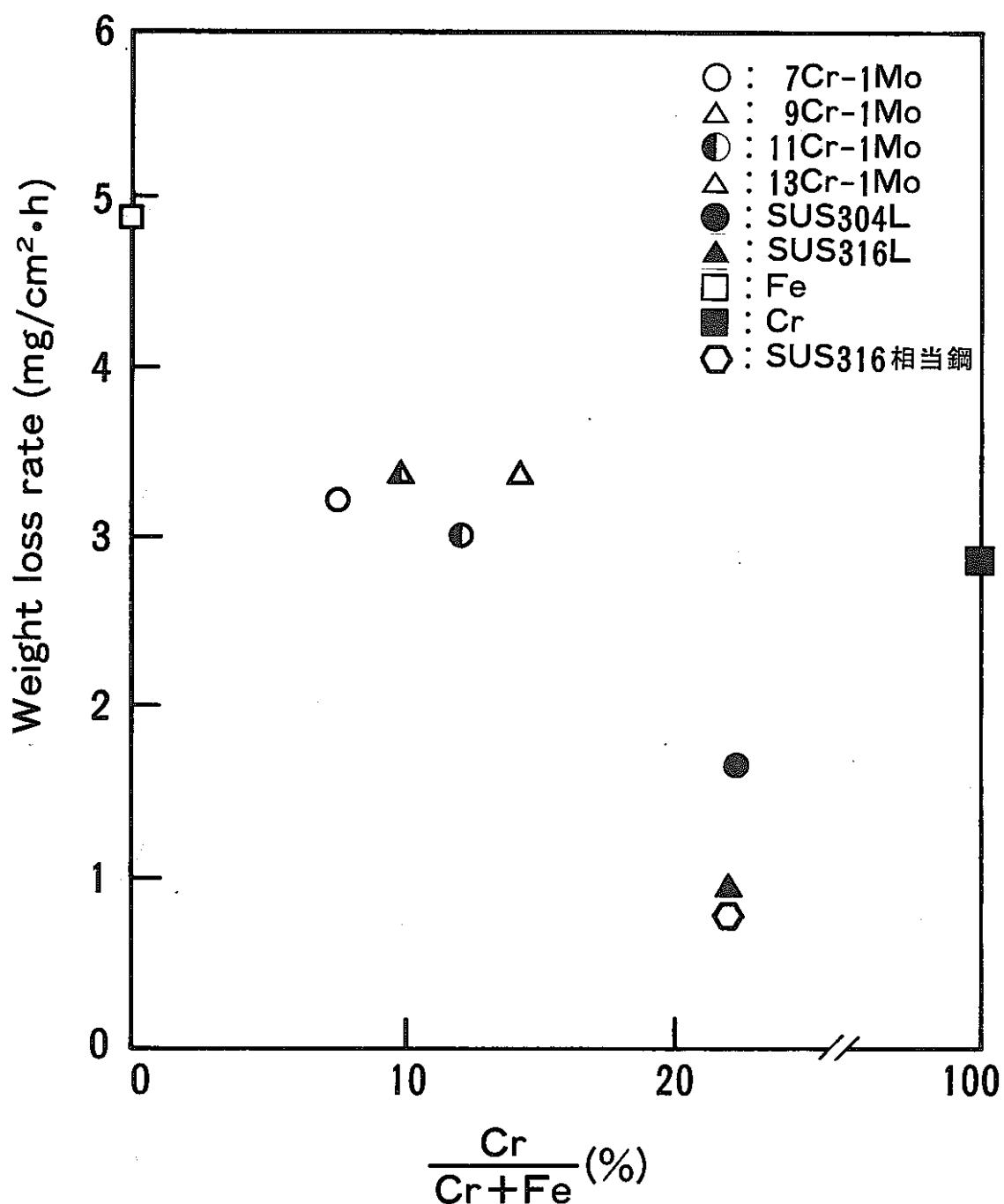


図 3 腐食速度の合金組成依存性 (600 °C)

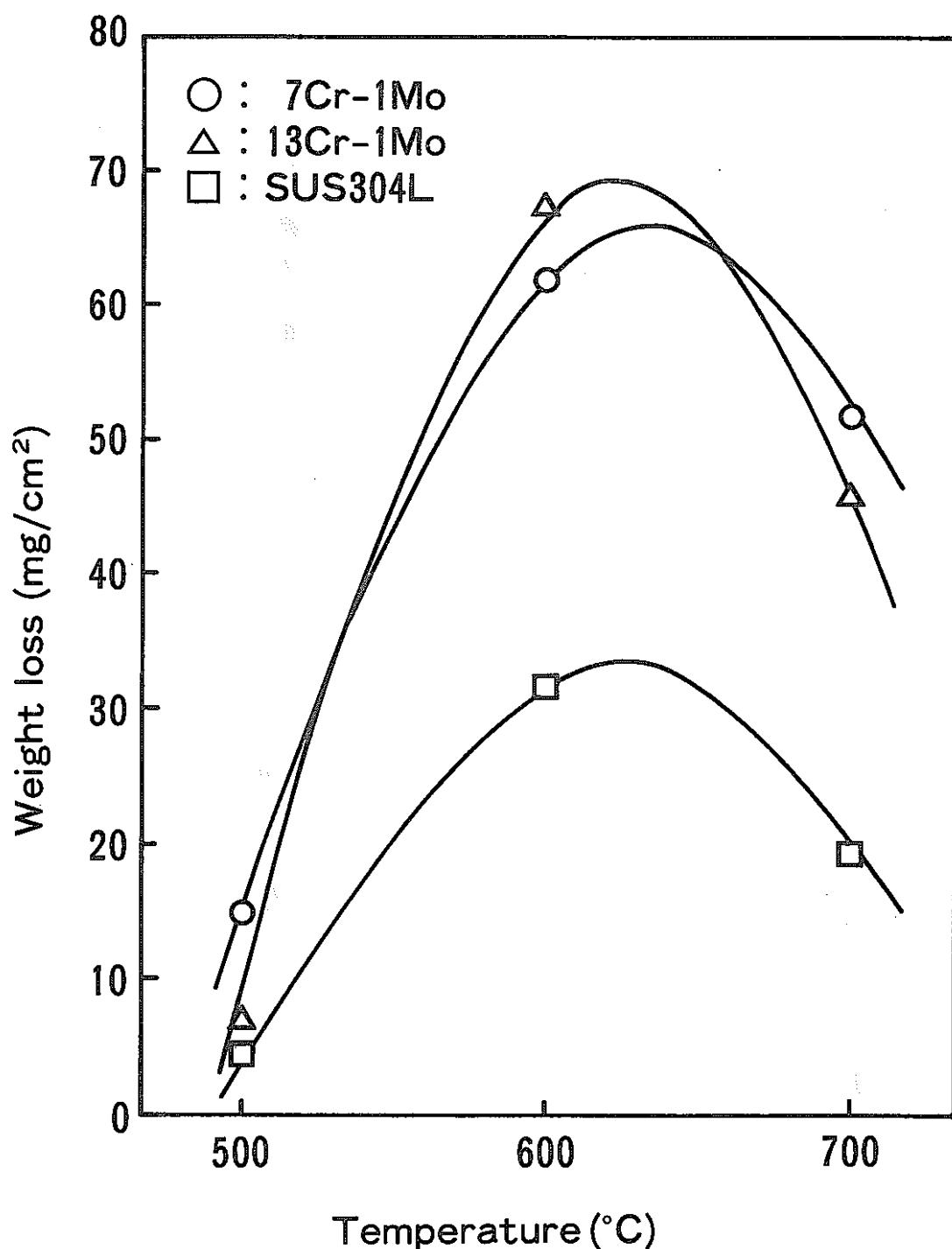


図 4 重量減少量の温度依存性（20時間）

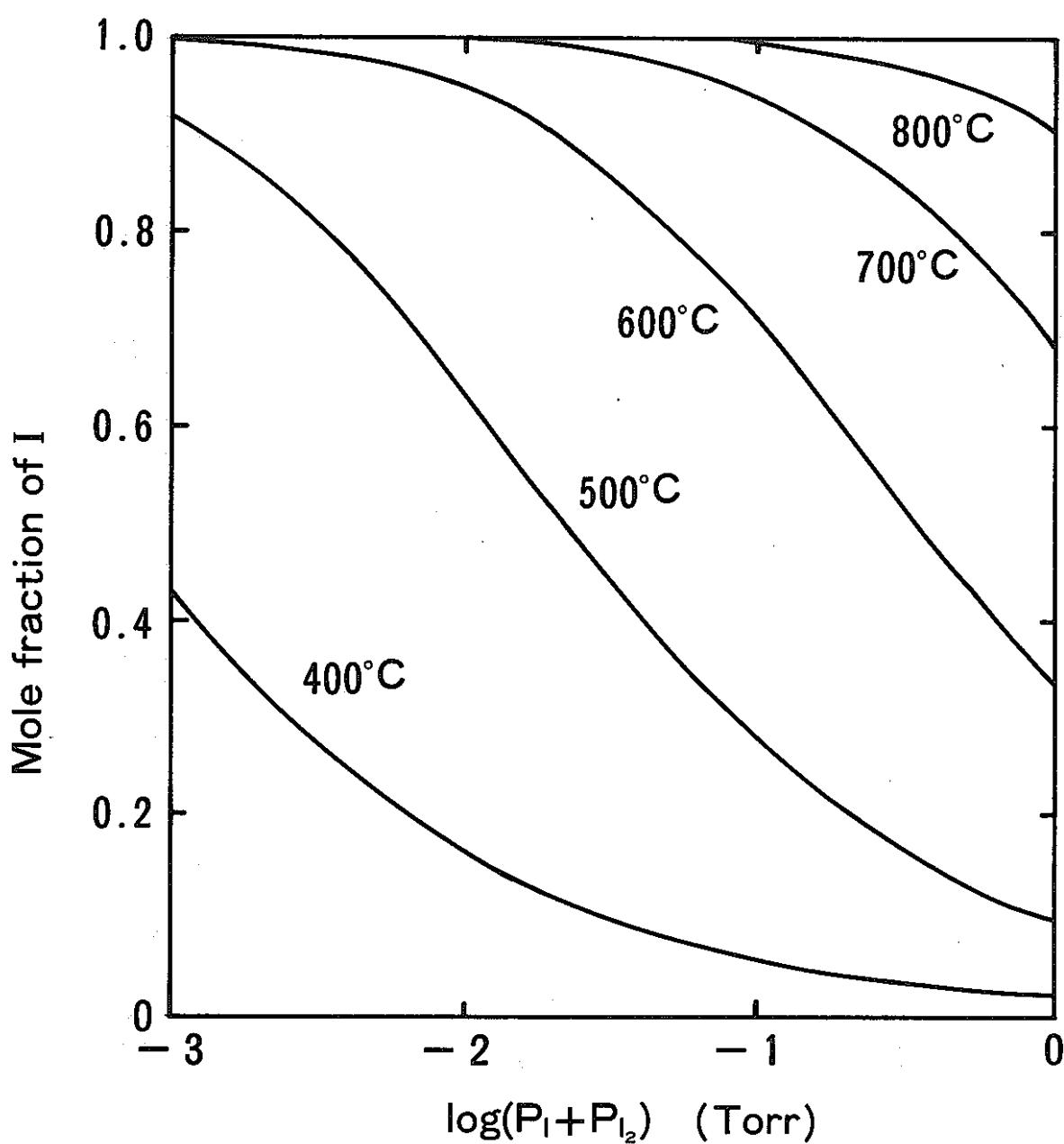


図 5 ヨウ素蒸気の解離度

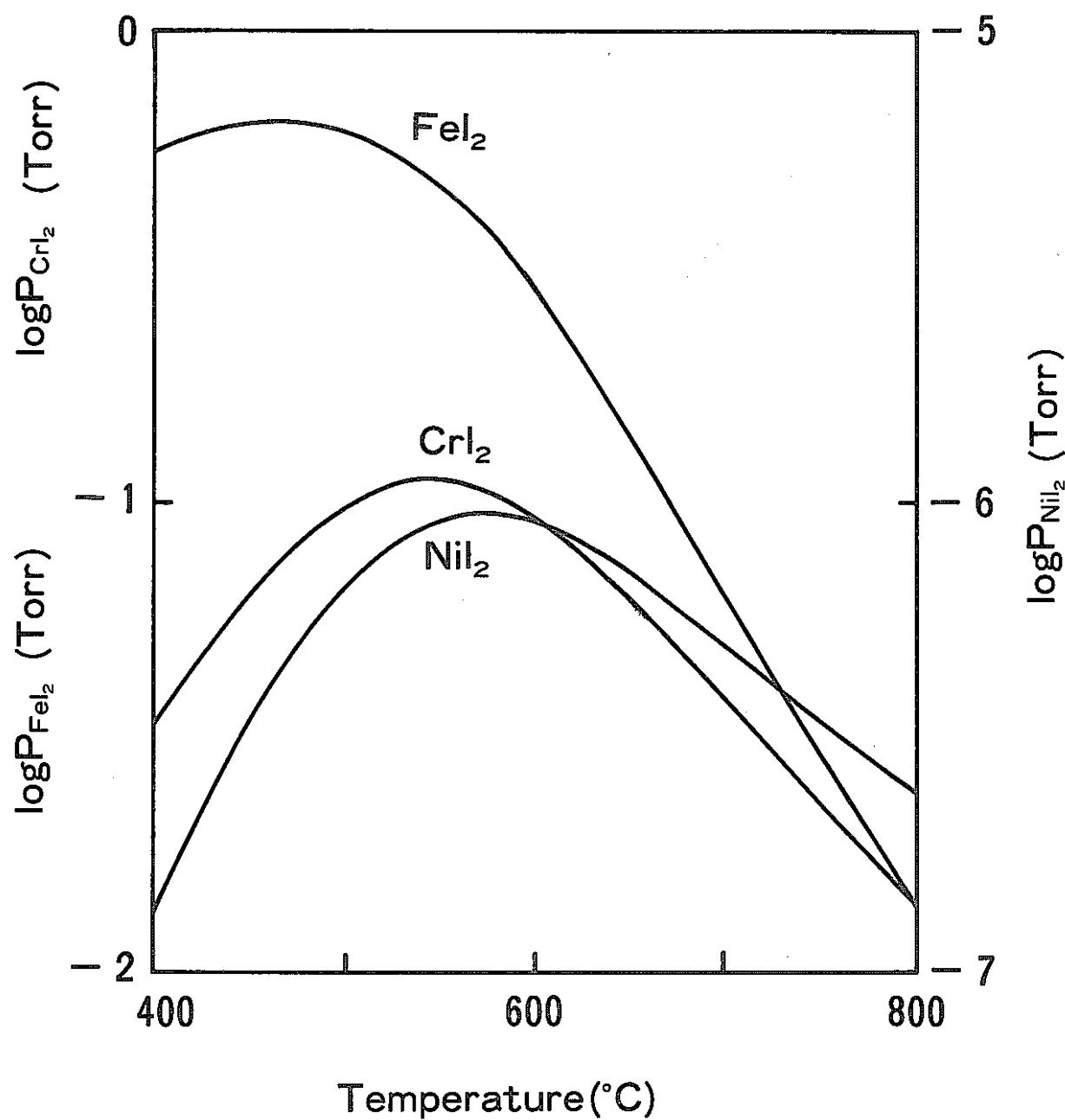


図 6 ヨウ化物の平衡蒸気圧 (SUS304L, ヨウ素圧力 0.05 Torr)

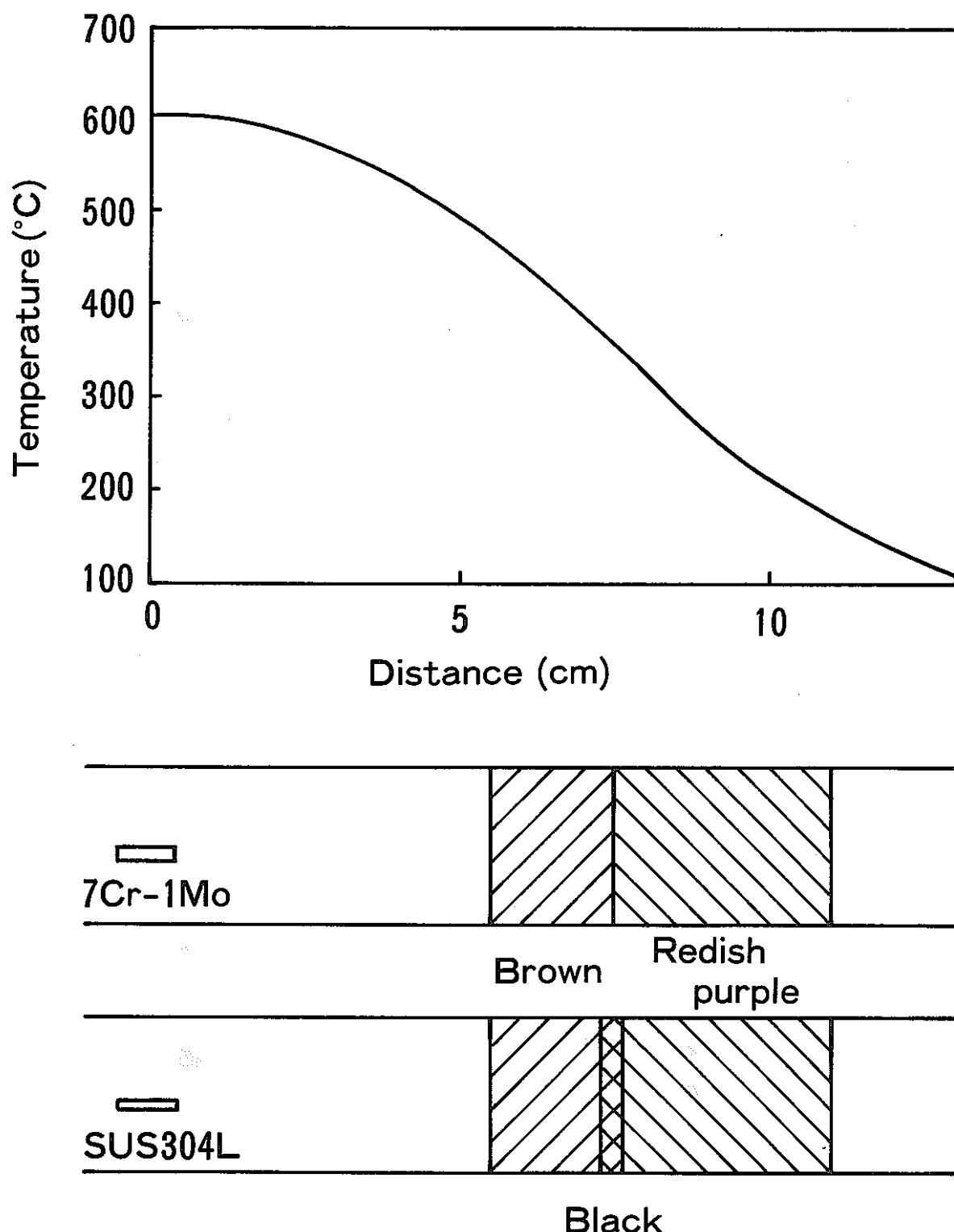


図 7 挥発性腐食生成物の付着挙動

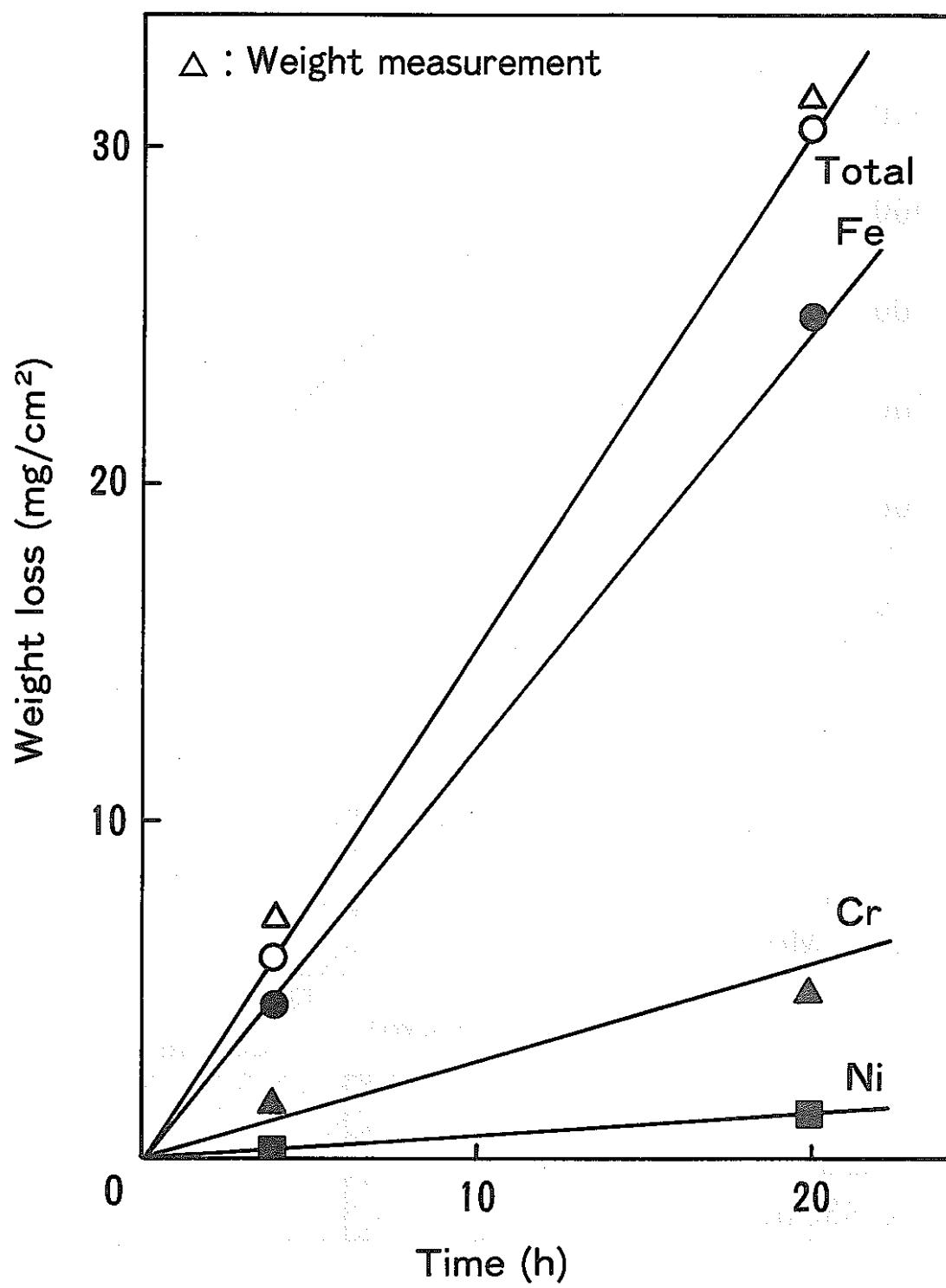


図 8 挥発性腐食生成物中の金属元素量の時間依存性 (SUS 304 L, 600°C)

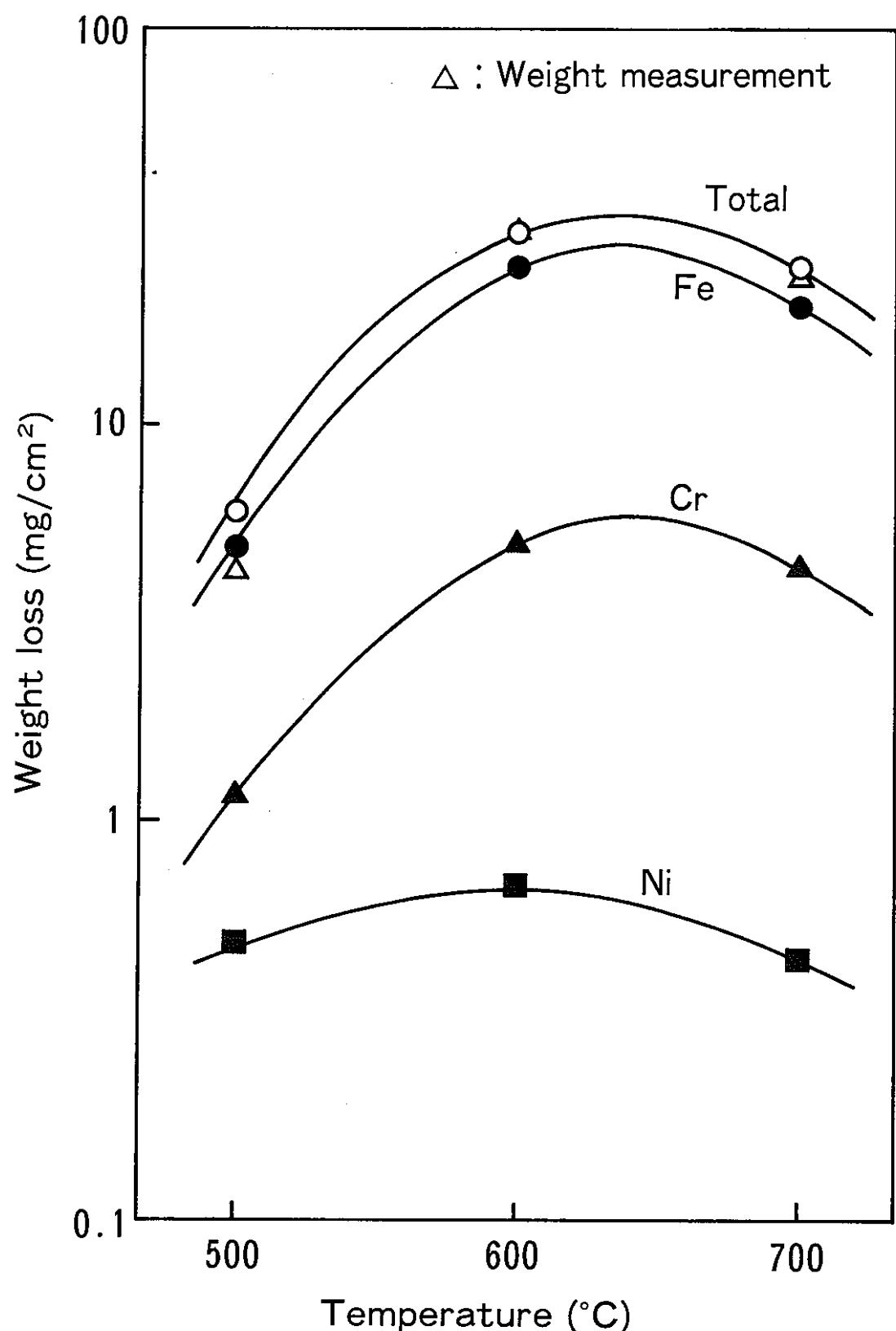
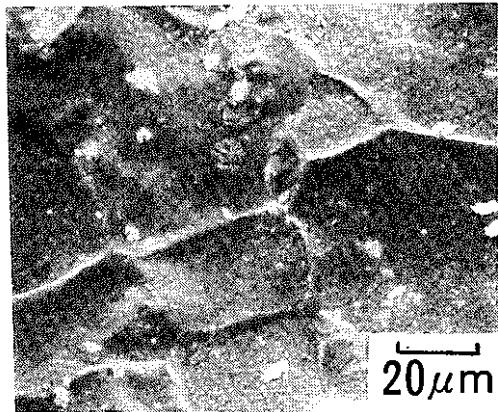
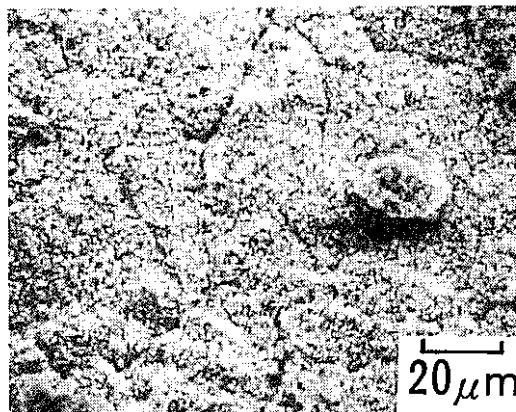


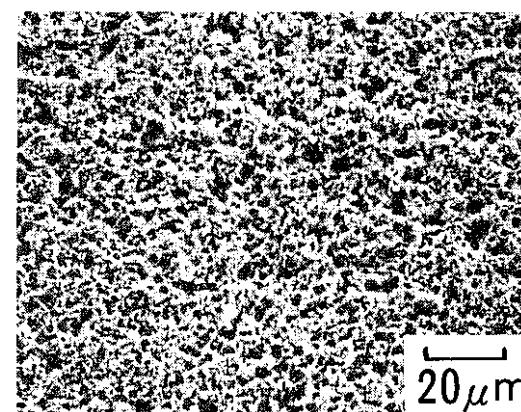
図 9 挥発性腐食生成物中の金属元素量の温度依存性 (SUS 304L, 20 時間)



13Cr-1Mo



SUS 304L



SUS 316L

図10 腐食後のステンレス鋼の表面SEM写真(600°C, 20時間)

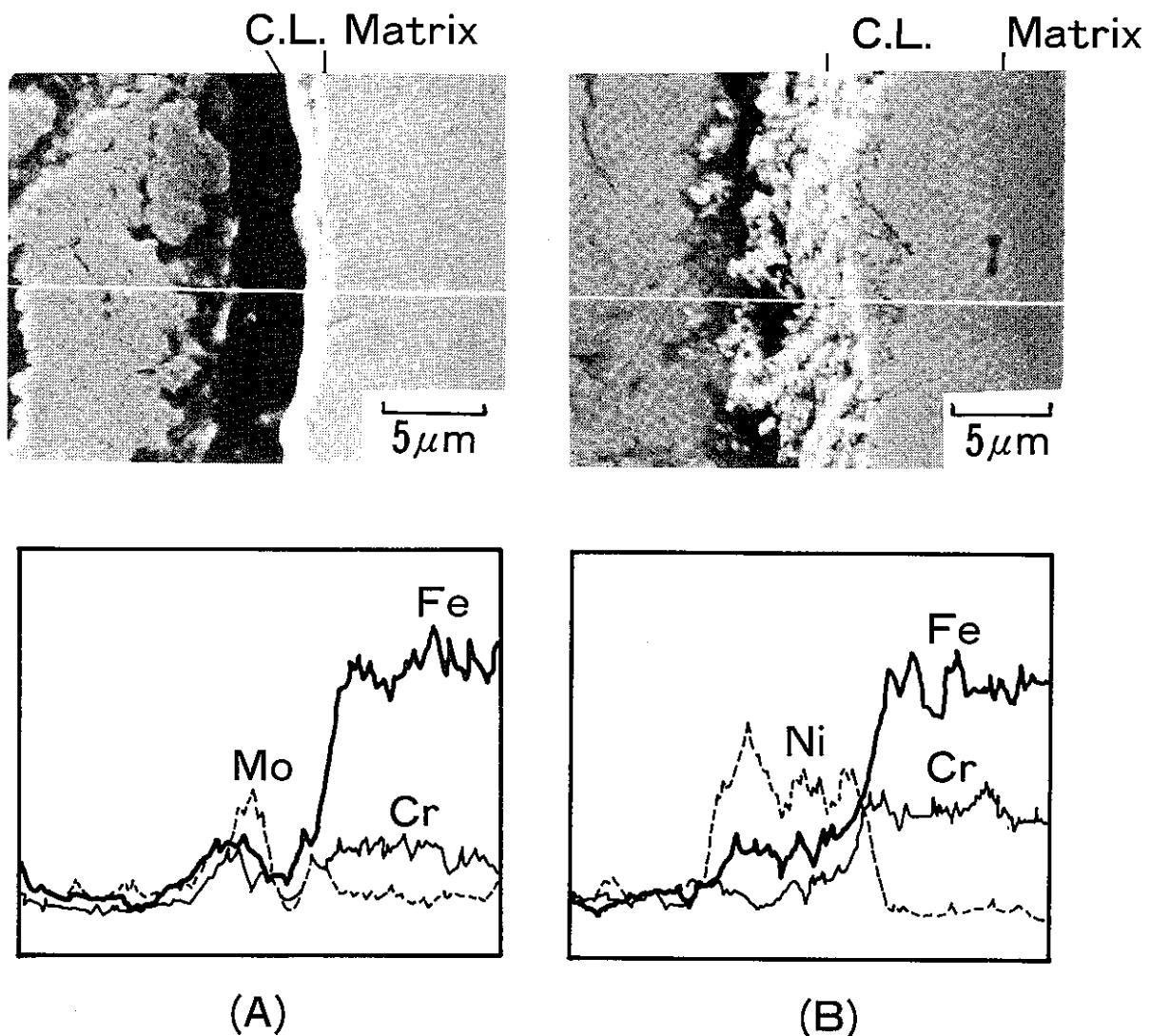


図11 腐食後の試料断面のSEM写真及びEDXA分析結果
(試料:(A)13Cr-1Mo,(B)SUS304L, 温度:20h)