



還元剤として過酸化水素および亜硫酸ナトリウムを用いたコバルトリッチクラストの塩酸浸出*

芝田 隼次¹ 亘 高志² 新苗 正和³

Hydrochloric Acid Leaching of Cobalt-Rich Ferromanganese Crust using Hydrogen Peroxide and Sodium Sulfite as Reducing Agents

by Junji SHIBATA¹, Takashi WATARI² and Masakazu NIINAE³

1. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Kansai University, Suita-shi 564-8680

2. Graduate Student, Kansai University

3. Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501

Hydrochloric acid leaching of Co, Ni, Cu, Mn and Fe from the cobalt-rich ferromanganese crust under reducing conditions was performed using hydrogen peroxide and sodium sulfite as reducing agents.

Hydrochloric acid concentration more than 3.0 mol/dm³ is required to obtain the high extraction of Co and Ni without reducing agents at ambient temperature. The high extraction of Cu in dilute hydrochloric acid solution without reducing agents at ambient temperature explains the different form of Cu from other metals present in cobalt-rich ferromanganese crusts. When hydrogen peroxide or sodium sulfite was used as reducing agent, the high extraction of Co and Ni was obtained with dilute hydrochloric acid at ambient temperature. In particular, hydrogen peroxide extracts metals in stoichiometric amounts. The extraction of Ni depends significantly on the leaching temperature, regardless of the presence or absence of reducing agents.

KEY WORDS : Cobalt-Rich Ferromanganese Crust, Leaching, Hydrochloric Acid, Hydrogen Peroxide, Sodium Sulfite

1. 緒 言

深海底鉱物資源であるコバルトリッチクラストは、コバルトの含有量がマンガンジュールと比べて高く、また、マンガンジュールが4,000～6,000 mの深海底に広く分布しているのに比べ、800～2,400 mと比較的浅い領域に分布しているうえに日本の経済水域内でも発見されていることから、わが国においてもその処理方法を早急に確立する必要がある。マンガンジュールおよびコバルトクラストの浸出に利用される無機酸としては、大きくは硫酸系と塩酸系の2系統に分けられる。硫酸浸出法は、硫酸が比較的安価であることからしばしば用いられるが、硫酸濃度を高くしてもマンガンジュールおよびコバルトリッチクラストの主成分である酸化マンガン(IV)相を還元破壊できないため、特にCoの高い浸出率を得ることができず、多くの場合種々の還元剤あるいは還元性ガスの併用によりその浸出率の向上が検討されている(河原ら, 1991, 1992; Allenら, 1991; 井上・河原, 1996; 芝田ら, 1998)。一方、塩酸浸出法ではマンガンジュールに対する研究例であるが、高濃度の塩酸溶液を用いた場合にのみ、Cu, NiおよびCoの高い浸出率が得られ、多くの場合硫酸系と同様

に還元剤との併用が検討されている(岩井ら, 1987; Kanungo and Jena, 1988; Chenら, 1992)。したがって、希薄な塩酸溶液によるコバルトリッチクラストの浸出性を向上させるには、硫酸浸出と同様に還元剤あるいは還元性ガスの併用が重要と考えられる。

そこで本研究では、過酸化水素および亜硫酸ナトリウムを還元剤としたコバルトリッチクラストの塩酸浸出を行い、各種金属の浸出性について検討を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験方法

2・1 試料

実験に使用したコバルトリッチクラスト(以後、Coクラストと呼ぶ)は、グアム島北東沖合で採取されたもので、一週間以上風乾したものを粗砕し、黒色のクラスト部と茶褐色の基盤部を手選で取り分けた後、クラスト部のみを74 μm以下に粉碎し、密閉容器に保存したものを浸出実験に供した。実験に使用したCoクラストの化学分析値をTable 1に示す。クラスト部についてX線回折を行ったが、明確な回折ピークが得られず、構成成分の同定はできなかった。ただし、基盤部はX線回折よりリン灰石(Fluorapatite)であることが確認された。

2・2 浸出実験

浸出実験は温度計、冷却管、攪拌翼を取り付けた容量300 cm³の4ツ口丸底フラスコに200 cm³の所定濃度の塩酸溶液を入れ、所定温度に調整した恒温水槽中で塩酸溶液が所定温度になるまで保持した後、Coクラスト2 gおよび所定量の過酸化水素あるい

* 1998年7月17日受付 11月17日受理

1. 正会員 工博 関西大学教授 工学部化学工学科

2. 関西大学大学院生 工学研究科化学工学専攻

3. 正会員 工博 京都大学助手 工学研究科資源工学専攻

(著者連絡先) FAX 06-6388-8869 (関西大・化工)

キーワード: コバルトリッチクラスト, 浸出, 塩酸, 過酸化水素, 亜硫酸ナトリウム

Table 1 Chemical analysis of cobalt-rich ferromanganese crust.

Element	Co	Ni	Cu	Mn	Fe
Content(wt%)	0.44	0.33	0.12	15.1	12.1

は亜硫酸ナトリウムを投入することにより行った。攪拌は羽根幅 60 mm のテフロン製羽根付攪拌棒で行い、攪拌速度は 400 rpm 一定とした。所定時間ごとに浸出液を分取し、浸出液中の金属濃度を原子吸光分光光度計（(株) 日立製作所製 Z-6000）で定量した。浸出率は、[(浸出液中の金属成分量)/(試料中の金属成分量)] × 100 (%) により求め、反応率は、浸出率が 100 % のときの反応率が 1 となるように浸出率を無次元化したものを用いた。また、実験に使用した塩酸、過酸化水素および亜硫酸ナトリウムは、試薬特級品（和光純薬(株)製）である。

3. 実験結果および考察

3・1 還元剤を用いない場合

塩酸濃度 0.1, 1.5, 3.0 および 5.0 mol/dm³、浸出温度 30 °C で Co クラストを浸出した場合の浸出時間と浸出率の関係を検討した。Fig. 1 に、塩酸濃度 3.0 mol/dm³ で浸出した結果を例として示す。塩酸濃度 3.0 mol/dm³ では、いずれの金属も浸出時間 60 min で 90 % 程度あるいはそれ以上の高い浸出率を示した。Co の浸出挙動は Mn の浸出挙動と類似しており、室温付近で高い浸出率を得るには 3.0 mol/dm³ 以上の塩酸濃度を必要とする。これは、Co が酸化マンガン(IV) 相内に存在するためと考えられる。したがって、Co の高い浸出率を得るには、酸化マンガン(IV) 相を効果的に破壊する必要があると考えられる。図には示していないが、塩酸濃度 0.1 および 1.5 mol/dm³ の場合、Cu の浸出率は 10 min の浸出で各々約 60 % および 80 % が得られたが、それ以外の金属では、塩酸濃度 1.5 mol/dm³ で 180 min 浸出した場合でも Ni および Fe で約 40 %、また、Co および Mn の浸出率は 20 % 以下であった。Cu が他の金属と異なり高い浸出率を示すのは、Cu の Co クラスト中での存在形態が他金属と異なることがその原因と考えられる。おそらく Cu は Co クラスト粒子表面あるいは粒子の細孔内に吸着したような状態で存在するものと考えられる (Niinaeら, 1995; 新苗ら, 1996)。このことはマンガンジュールの Ni や Cu についても指摘されており、イオン交換樹脂に吸着した金属に近い状態で存在する (伊藤ら, 1977) という報告もある。ただし、本研究では Ni に関しては Cu

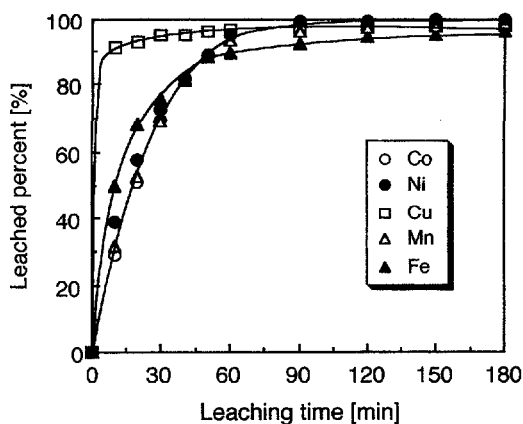


Fig. 1 Effect of leaching time on hydrochloric acid leaching of metals from cobalt-rich ferromanganese crust. [HCl]: 3.0 mol/dm³; Leaching temperature: 30 °C

のような特異な浸出挙動は見られなかった。

Fig. 2 に、塩酸濃度 1.5 mol/dm³、浸出時間 60 min で Co クラストを浸出した場合の各金属の浸出率と浸出温度の関係を示す。浸出温度の増加とともに各金属の浸出率は増加している。Co および Mn の浸出率は、浸出温度 50 °C 以上で大きく増加している。一方、Cu の浸出率の温度依存性は小さい。また、Co と Mn の浸出挙動の類似性が観察される。

次に、Ni および Co の浸出速度について検討した。本研究では浸出開始 10 min 以内の初期浸出に対して 1 次反応速度式を適用して検討を行った。酸消費量が無視でき、酸濃度が一定と考えられる場合、1 次反応速度式は簡単に次式で示すことができる。

$$\frac{df}{dt} = k(1-f) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、*f* は反応率を、また、*k* は見かけの速度定数を示す。式 (1) を積分すると次式が導かれる。

$$\ln \frac{1}{1-f} = kt \dots\dots\dots (2)$$

Fig. 3 は、1.0 mol/dm³ 塩酸溶液で浸出した場合の Co について、式 (2) の左辺の値を浸出時間に対してプロットした結果を例として示す。Fig. 3 から分かるように、いずれの温度においても Co の浸出に対して直線関係を示し、初期浸出を 1 次反応速度式で表現できることが分かる。また、Ni についても同様の結果が得られた。

次に、種々の浸出温度で塩酸浸出し、式 (2) に基づいて Co および Ni の見かけの速度定数 *k* を求め、それを Arrhenius プロットした結果を Fig. 4 に示す。Arrhenius プロットの結果より塩酸浸出における Co および Ni の活性化エネルギーを求めた結果、各々 47.0 kJ/mol および 59.3 kJ/mol が得られた。塩酸浸出における Co および Ni の活性化エネルギーは大きな値を示しており、Co および Ni の浸出が浸出温度に依存し、特に Ni の浸出温度依存性が大きいことが分かる。

3・2 還元剤として過酸化水素および亜硫酸ナトリウムを用いた場合

3・2・1 浸出時間の影響 Co クラストの主成分である Mn は、マンガンジュールと同様に酸化マンガン(IV) であると考えられている (白井ら, 1987; Haynes and Magyear, 1987)。したがって、還元剤として過酸化水素あるいは亜硫酸ナトリウムを用いることにより、酸化マンガン(IV) 相を破壊することができれば、その中に含まれると考えられる Co の高い浸出

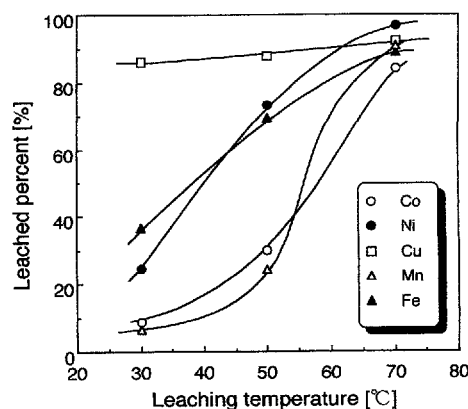


Fig. 2 Effect of leaching temperature on hydrochloric acid leaching of metals from cobalt-rich ferromanganese crust. [HCl]: 1.5 mol/dm³; Leaching time: 60 min

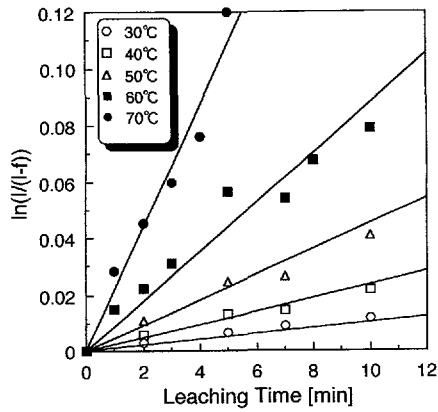


Fig. 3 Plots of $\ln(1/(1-f))$ as a function of leaching time for extraction of Co from cobalt-rich ferromanganese crust with hydrochloric acid. $[HCl] : 1.0 \text{ mol/dm}^3$

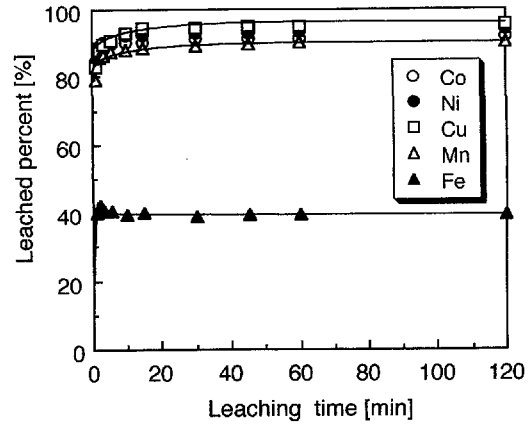


Fig. 5 Effect of leaching time on hydrochloric acid leaching of metals from cobalt-rich ferromanganese crust in the presence of hydrogen peroxide. $[HCl] : 0.1 \text{ mol/dm}^3$; $[H_2O_2] : 0.0367 \text{ mol/dm}^3$; Leaching temperature : $25 \text{ }^\circ\text{C}$

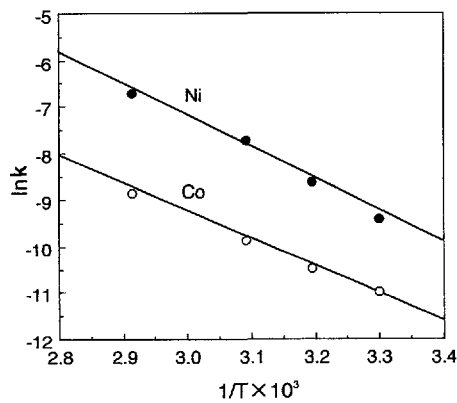


Fig. 4 Arrhenius plots for extraction of Co and Ni from cobalt-rich ferromanganese crust. $[HCl] : 1.0 \text{ mol/dm}^3$

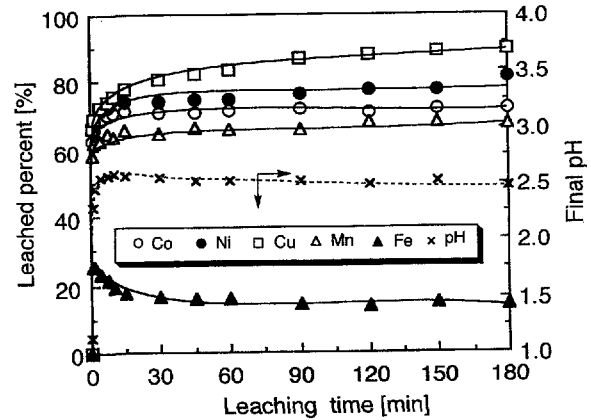


Fig. 6 Effect of leaching time on hydrochloric acid leaching of metals from cobalt-rich ferromanganese crust in the presence of sodium sulfite. $[HCl] : 0.1 \text{ mol/dm}^3$; $[Na_2SO_3] : 0.0317 \text{ mol/dm}^3$; Leaching temperature : $30 \text{ }^\circ\text{C}$

率が得られることが期待できる。過酸化水素は通常酸化剤として用いられるが、酸化作用と還元作用の両方を有し、酸化マンガン(IV)などの強酸化性物質と共存すると還元剤として作用する。そこでまず最初に、過酸化水素が金属の浸出性に与える影響について検討した。Fig. 5は、塩酸濃度 0.1 mol/dm^3 、過酸化水素濃度 0.0367 mol/dm^3 、浸出温度 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ でCoクラストを浸出した場合の、各金属の浸出率と浸出時間の関係を示す。Fig. 5から分かるように、浸出速度は非常に速く、浸出時間 $10 \sim 15 \text{ min}$ でいずれの金属もほぼ浸出平衡に達していることが分かる。また、Fe以外の金属において高い浸出率が得られた。先の3・1で述べたように、常温付近でCu、NiおよびCoの90%以上の高い浸出率を得るには、塩酸濃度 3.0 mol/dm^3 以上、浸出時間 60 min 以上で浸出する必要があったことを考えると、過酸化水素を少量添加することにより効率的にCu、NiおよびCoを浸出できることが分かる。

次に、亜硫酸ナトリウム濃度 0.0317 mol/dm^3 、塩酸濃度 0.1 mol/dm^3 、浸出温度 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ の条件で浸出した場合の各金属の浸出率と浸出時間の関係をFig. 6に示す。過酸化水素と同様に各金属の浸出速度は速く、浸出時間 $30 \sim 60 \text{ min}$ でほぼ浸出平衡に達している。過酸化水素濃度と等モル濃度でないので単純な比較はできないが、各金属とも過酸化水素を用いた場合と比べて浸出率は低くなっている。

3・2・2 塩酸濃度の影響 過酸化水素濃度 0.0367 mol/dm^3 、浸出温度 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 、浸出時間 60 min の条件で、各金属の浸出性に与える塩酸濃度の影響について検討した。その結果をFig. 7に示す。塩酸濃度 0.01 mol/dm^3 ではいずれの金属も浸出せず、 0.05 mol/dm^3 ではCuとFeは浸出しないが、CoおよびNiは約30%、Mnについては約50%の浸出率を示している。これら低い塩酸濃度でFeおよびCuの浸出が見られないのは、浸出液中のFeは塩酸濃度が低いことにより十分な浸出が起らないこと、また、一部溶解したFeはFe(III)として存在するため、水酸化物として沈殿したものと考えられる。塩酸濃度 0.05 mol/dm^3 以上でいずれの金属の浸出率も急激に増加している。

次に、亜硫酸ナトリウム濃度 0.0317 mol/dm^3 、浸出温度 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 、浸出時間 60 min の条件で、各金属の浸出性に与える塩酸濃度の影響について検討した。その結果をFig. 8に示す。過酸化水素と同様に塩酸濃度 0.01 mol/dm^3 までではいずれの金属も浸出せず、 0.05 mol/dm^3 でCo、NiおよびCuが17~40%程度浸出するが、CuおよびFeの浸出は見られない。これは先の過酸化水素のところでも述べたように、塩酸濃度が低いことにより十分なFeの浸出が得られないこと、また、浸出液のpHが4.6と高く、一部溶解したFe(III)は水酸化物として沈殿したものと考え

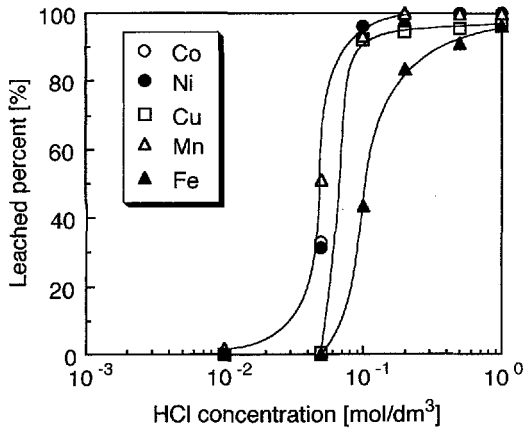


Fig. 7 Effect of hydrochloric acid concentration on leaching of metals from cobalt-rich ferromanganese crust in the presence of hydrogen peroxide. [H₂O₂] : 0.0367 mol/dm³ ; Leaching temperature : 30 °C ; Leaching time : 60 min

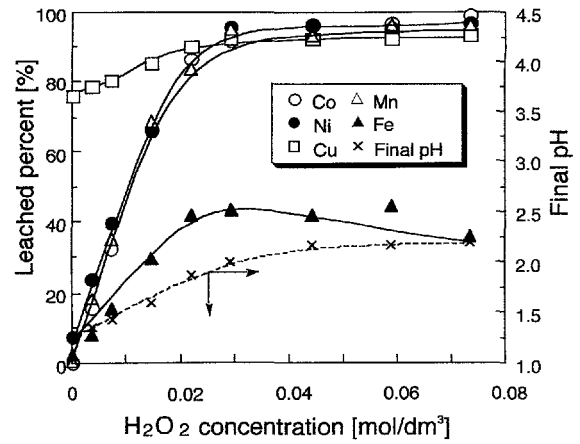


Fig. 9 Effect of hydrogen peroxide concentration on hydrochloric acid leaching of metals from cobalt-rich ferromanganese crust. [HCl] : 0.1 mol/dm³ ; Leaching temperature : 30 °C ; Leaching time : 60 min

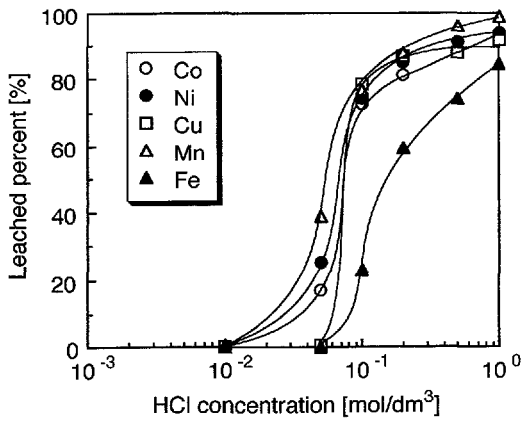


Fig. 8 Effect of hydrochloric acid concentration on leaching of metals from cobalt-rich ferromanganese crust in the presence of sodium sulfite. [Na₂SO₃] : 0.0317 mol/dm³ ; Leaching temperature : 30 °C ; Leaching time : 60 min

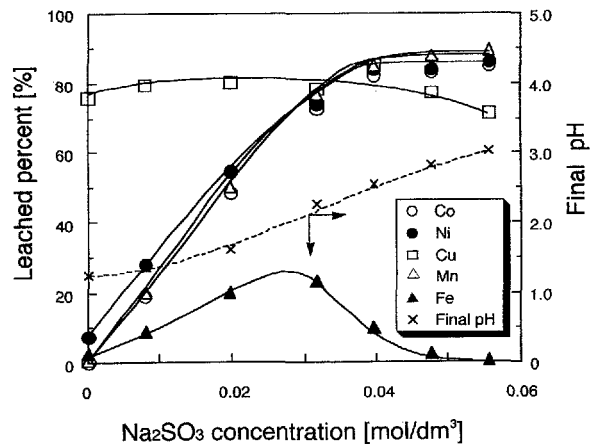


Fig. 10 Effect of sodium sulfite concentration on hydrochloric acid leaching of metals from cobalt-rich ferromanganese crust. [HCl] : 0.1 mol/dm³ ; Leaching temperature : 30 °C ; Leaching time : 60 min

られる。一方 Cu は、過酸化水素を用いた場合も含め、Fe (III) 水酸化物と共沈した可能性もあるが、現在のところ明確な理由は分からない。塩酸濃度 0.05 ~ 0.1 mol/dm³ にかけて Fe 以外の金属の浸出率は急激に増加し、それ以降は緩やかな増加を示している。

3・2・3 過酸化水素および亜硫酸ナトリウム濃度の影響

塩酸濃度 0.1 mol/dm³、浸出温度 30 °C、浸出時間 60 min の条件で、過酸化水素濃度を変化させた場合の各金属の浸出性について検討した。その結果を Fig. 9 に示す。Fig. 9 から分かるように、Co、Ni および Mn の浸出率は過酸化水素濃度の増加とともに高くなり、過酸化水素濃度 0.03 mol/dm³ 以上で 90 % 以上の高い浸出率が得られた。Fe の浸出率は、40 % 程度と低い値を示している。これは、Fig. 9 に示すように、浸出液の pH の増加により Fe (III) が水酸化物として一部沈殿するためと考えられる。一方、Cu の浸出率は過酸化水素濃度にはほとんど関係なく常に高い浸出性を示した。これは、先に述べたように、Cu の Co クラスト中での存在形態が他の金属と異なるためと考えられる。

次に、塩酸濃度 0.1 mol/dm³、浸出温度 30 °C、浸出時間 60

min で浸出した場合の各金属の浸出性に与える亜硫酸ナトリウム濃度の影響について検討した。その結果を Fig. 10 に示す。Co、Ni および Mn の浸出率は亜硫酸ナトリウム濃度の増加とともに直線的に増加するが、亜硫酸ナトリウム濃度 0.04 mol/dm³ 以上では浸出率 85 ~ 90 % でほぼ一定値を示す。Cu については亜硫酸ナトリウム濃度の影響は小さく、ほぼ 70 ~ 80 % の一定の浸出率を示している。一方、Fe については亜硫酸ナトリウム濃度 0.03 mol/dm³ まではその浸出率は増加するが、それ以上では逆に減少し、亜硫酸ナトリウム濃度 0.05 mol/dm³ 以上ではほぼ 0 % となる。これは浸出液の pH の増加により Fe が Fe (III) 水酸化物として沈殿するためである。また、亜硫酸ナトリウム濃度 0.04 mol/dm³ 以上で Cu の浸出率に若干減少傾向が見られるが、これが Fe (III) 水酸化物と一部共沈するためなのか分からない。

3・2・4 浸出温度の影響

過酸化水素濃度 0.022 mol/dm³、塩酸濃度 0.1 mol/dm³、浸出時間 60 min の条件で、各金属の浸出性に与える浸出温度の影響を検討した。その結果を Fig. 11 に示す。Co、Mn および Fe の浸出率は、浸出温度の増加とともに減少している。しかし、Ni は 50 °C までは減少傾向

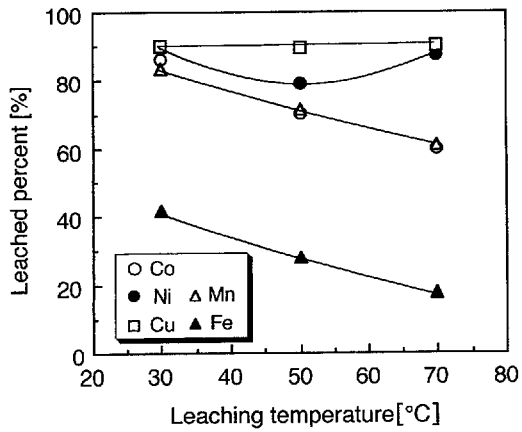


Fig. 11 Effect of leaching temperature on hydrochloric acid leaching of metals from cobalt-rich ferromanganese crust in the presence of hydrogen peroxide. [HCl]: 0.1 mol/dm³; [H₂O₂]: 0.022 mol/dm³; Leaching time: 60 min

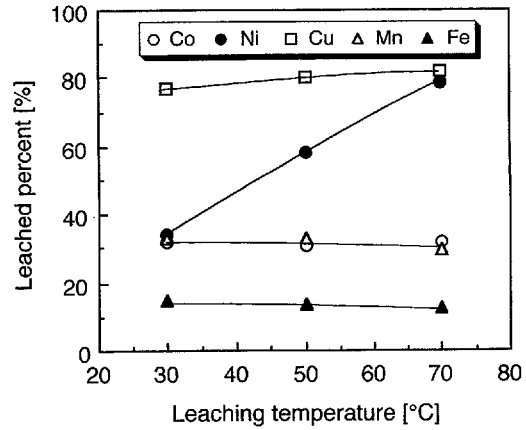
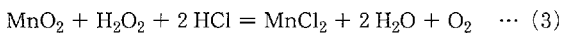


Fig. 12 Effect of leaching temperature on hydrochloric acid leaching of metals from cobalt-rich ferromanganese crust in the presence of sodium sulfite. [HCl]: 0.1 mol/dm³; [Na₂SO₃]: 0.0119 mol/dm³; Leaching time: 60 min

を示すが、50℃以上では逆に増加傾向を示している。過酸化水素の分解反応は非常に遅く、酸溶液中で安定と考えられるが、温度が高くなると過酸化水素の分解反応が促進され、還元作用は低下する。このことが、Co、Ni、Mn および Fe の浸出率の単調な減少、また、Ni の 50℃ までの浸出率の減少傾向を引き起こす原因と考えられる。50℃ 以上で Ni の浸出率が増加傾向を示すのは、先の 3・1 で示したように Ni の塩酸による浸出は温度依存性が強く、50℃ 以上では過酸化水素の分解の影響より浸出温度の影響が浸出性の向上に強く寄与するためと考えられる。Co も Ni ほどではないが塩酸による浸出性は温度依存性が強いことを先に示した。しかし、Co の場合、過酸化水素の分解による還元力の低下により、酸化マンガン(IV)相の破壊が抑制されるため、浸出温度の増加とともに浸出率が減少したのと考えられる。これは、Co が Mn と類似の浸出挙動を示していることから理解できる。一方、Cu の浸出性は浸出温度に依存せず、その理由はこれまでに述べたようにその存在形態に起因すると考えられる。

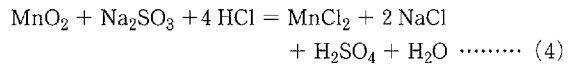
次に、亜硫酸ナトリウム濃度 0.0119 mol/dm³、塩酸濃度 0.1 mol/dm³、浸出時間 60 min の条件で浸出した場合の各金属の浸出率と浸出温度の関係を Fig. 12 に示す。Ni の浸出温度依存性が強いことが顕著に示されている。一方、Ni 以外の金属の浸出率の温度依存性は小さく、Co については過酸化水素のところで述べた同じ理由で浸出率の温度依存性が小さいものと考えられる。

3・2・5 化学量論的考察 Co クラスト中の各金属成分の形態については、X 線回折からは同定できなかったが、Co クラストの主成分である Mn はマンガンノジュールと同様に酸化マンガン(IV)として存在しているといわれている。したがって、過酸化水素を用いた場合、塩酸溶液中では次のような酸化マンガン(IV)の浸出反応が考えられる。



パルプ濃度 10 g/dm³ で浸出を行った場合、式(3)より酸化マンガン(IV)を完全に浸出するには、化学量論的に約 0.028 mol/dm³ の過酸化水素を必要とする。先に示した Fig. 9 において、Mn の浸出率は過酸化水素濃度 0.028 mol/dm³ で高い値を示し、しかもそれ以上ではほとんど浸出率に変化は見られなかった。このことから過酸化水素を還元剤として用いることにより、化学量論的にはほぼ理論量で目的金属成分を浸出できることが分かる。

一方、亜硫酸ナトリウムを用いた場合、塩酸溶液中では次のような酸化マンガン(IV)の浸出反応が考えられる。



パルプ濃度 10 g/dm³ で浸出する場合、式(4)より酸化マンガン(IV)を完全に浸出するには化学量論的に約 0.028 mol/dm³ の亜硫酸ナトリウムを必要とする。先に示した Fig. 10 において、亜硫酸ナトリウムの化学量論的必要量 0.028 mol/dm³ を超えても Mn の浸出率は増加している。このことは、過酸化水素を用いた場合と比べて浸出液の pH の増加が浸出反応に影響し、目的金属の高い浸出率を得るのに理論量より過剰の亜硫酸ナトリウムが必要になったものと考えられる。

4. 結 論

過酸化水素および亜硫酸ナトリウムを還元剤として用いた塩酸溶液によるコバルトリッチクラストの浸出を行い、Co、Ni、Cu、Mn および Fe の浸出について検討し、以下の結論を得た。

- 1) Co は主に酸化マンガン(IV)相に存在すると考えられ、還元剤を用いない塩酸のみによる浸出では、室温付近で Co の高い浸出率を得るには 3.0 mol/dm³ 以上の塩酸溶液で酸化マンガン(IV)相を破壊する必要がある。Ni についても Co と同様に高い浸出率を得るには高濃度の塩酸が必要である。一方、Cu は他の金属と存在形態が異なると考えられ、他の金属と比べて低濃度の塩酸溶液でも高い浸出率を得ることができる。
- 2) Co、Ni、Mn および Fe の浸出率は、浸出温度の増加とともに大きく増加する。Co と Ni を比較した場合、Ni の方が浸出温度依存性が高いと考えられる。一方、Cu の浸出性の浸出温度依存性は小さい。
- 3) 還元剤として過酸化水素および亜硫酸ナトリウムを用いた場合、塩酸のみでは室温付近で低い浸出率しか得られない低濃度の塩酸溶液でも、Co および Ni の高い浸出率を得ることができる。特に過酸化水素は酸化マンガン(IV)と化学量論的に反応し、必要最小限の濃度で Co および Ni を浸出することが可能である。
- 4) 過酸化水素を用いた場合の Co、Mn および Fe の浸出率は、浸出温度の増加とともに減少し、また、Ni の浸出率は浸出温度 50℃ までは減少する傾向を示す。これは浸出温度の増加により、過酸化水素の分解反応が進み、その還元作用の低下が原因

と考えられる。ただし、Niの浸出率は50℃以上で増加傾向を示すが、これはNiの塩酸による浸出性は温度依存性が強く、50℃以上では過酸化水素の分解反応の影響より浸出温度の影響が強く寄与するためと考えられる。Cuについてはその浸出性は浸出温度に関係なくほぼ一定である。

一方、亜硫酸ナトリウムを用いた場合、Niの浸出性に温度依存性が顕著に見られ、浸出温度の増加とともに浸出率は増加する。Ni以外の金属の浸出性はほとんど浸出温度に依存しない。

引用文献

Allen, J. P., Abercrombie, H. L. and Rice, D. A. (1991): Minerals & Metallurgical Processing, May, p. 97-104
Chen, H., Fu, C. and Zheng, D. (1992): Hydrometallurgy, Vol. 28, p. 269-275

Haynes, B. W. and Magyear, M. J. (1987): Marine Minerals, p. 235-246
井上 章・河原正泰 (1996): 資源と素材, Vol. 112, p. 947-951
伊藤 宏・田鶴浜公二郎・高木須美子・奥臨昭嗣・岡部泰二郎 (1977): 日本化学会誌, No. 8, p. 1113-1118
岩井正雄・奥井典子・新井甲一・位崎敏男・粟倉泰弘・真嶋 宏 (1987): 日本金属学会誌, Vol. 51, p. 432-438
Kanungo, S. B. and Jena, P. K. (1988): Hydrometallurgy, Vol. 21, p. 41-58
河原正泰・片山賢一・満尾利晴 (1991): 資源と素材, Vol. 107, p. 871-876
河原正泰・満尾利晴 (1992): 資源と素材, Vol. 108, p. 396-401
Niinae, M., Park, C., Nakahiro, Y., Wakamatsu, T. and Shibata, J. (1995): Proceedings of the First ISOPE Ocean Mining Symposium, p. 211-215
新苗正和・三浪純子・朴賛勲・中廣吉孝 (1996): 資源処理技術, Vol. 43, p. 115-121
芝田隼次・亘 高志・新苗正和 (1998): 資源処理技術, Vol. 45, p. 59-63
白井 明・寺島 滋・湯浅真人 (1987): 海洋科学, Vol. 19, 215-220