



JAERI-Tech  
99-006

JP9950024



LiCl-KCl共晶塩中のU/U<sup>3+</sup>平衡電位測定による  
Ag/AgCl参照電極の特性の検討

1999年2月

小林紀昭・北脇慎一\*・天本一平\*・五十嵐幸\*

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1999

編集兼発行 日本原子力研究所

LiCl-KCl共晶塩中のU/U<sup>3+</sup>平衡電位測定によるAg/AgCl参照電極の特性の検討

日本原子力研究所東海研究所物質科学部

小林 紀昭・北脇 慎一\*・天本 一平\*・五十嵐 幸\*\*

(1999年1月13日受理)

塩化物溶融塩系の電気化学的測定では、Ag/AgClの参照電極を用いることが多い。セル：U(s) + UCl<sub>3</sub>, LiCl-KCl || LiCl-KCl, Ag<sup>+</sup> | Ag(s)において、温度およびUCl<sub>3</sub>濃度を変えたU/U<sup>3+</sup>平衡電位測定を通じて、Ag/AgCl参照電極の特性を調べた。液絡部についてムライト系隔膜およびパイレックスガラス膜を用いる二種類の参照電極を調整し、それらの特性を調べた。二種の電極の特性はほぼ同等と見なせることがわかった。複数本の同一構造の参照電極を用いての再現性の確認試験の結果では、773Kにおける標準偏差は0.003Vであった。

---

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

\* 核燃料サイクル機構

\*\* 原子力安全技術センター

Characterization of Ag/AgCl Reference Electrode by U/U<sup>3+</sup> Equilibrium Potential  
Measurements in LiCl-KCl Eutectic Melt

Fumiaki KOBAYASHI, Shinichi KITAWAKI\*, Ippei AMAMOTO\*  
and Miyuki IGARASHI\*\*

Department of Materials Science  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 13, 1999)

The Ag/AgCl reference electrode is often used in electrochemical measurements of molten chloride system. By measuring the U/U<sup>3+</sup> equilibrium potential in the cell, U<sub>(S)</sub> | UCl<sub>3</sub>, LiCl-KCl || LiCl-KCl, Ag<sup>+</sup> | Ag<sub>(S)</sub>, the characterization of the Ag/AgCl reference electrode was made. The behavior of two types of reference electrode having either a mullite or a Pyrex-glass membrane bridge was examined. It was confirmed that the two types of reference electrode can be regarded as almost equivalent. The reproducibility of the reading from the electrodes having the identical construction was showing to be within 0.003V.

Keywords : Reference Electrode, Molten Salt, Potential, Uranium Trichloride, Silver,  
Silver Chloride

---

\* Japan Nuclear Cycle Development Institute

\*\* Nuclear Safety Technology Center

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 実験方法 .....	1
2.1 試 料 .....	1
2.2 参照電極の製法 .....	2
2.3 実験装置 .....	3
3. 結 果 .....	3
3.1 電位の経時安定性 .....	3
3.2 UCl <sub>3</sub> 濃度と電位の関係 .....	4
3.3 参照電極電位の変動 .....	4
3.4 液絡部材質の違いの影響 .....	5
4. まとめ .....	5
謝 辞 .....	6
参考文献 .....	7

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experimental Methods .....	1
2.1 Specimens .....	1
2.2 Manufacturing Methods of the Reference Electrode .....	2
2.3 Apparatus .....	3
3. Results .....	3
3.1 Time Dependence of Electromotive Force of Reference Electrode .....	3
3.2 Relation between Electromotive Force and UCl <sub>3</sub> Concentration in the Molten Salt	4
3.3 Dispersion of Electromotive Force of Reference Electrodes .....	4
3.4 Effect of Reference Electrode Membranes .....	5
4. Summary .....	5
Acknowledgments .....	6
References .....	7

## 1. はじめに

高温での溶融塩における電気化学的測定では、取扱いの容易さ等の理由から一般的に Ag/AgCl の組合わせによる参照電極が用いられている<sup>(1)(2)</sup>。この参照電極の液絡部として多孔質のムライト( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ )管<sup>(2)(3)</sup>や先端部の肉厚を薄くしたパイレックスガラス管または石英管<sup>(4)(5)</sup>が用いられている。本報告では Ag/(AgCl, LiCl-KCl) の液絡部にムライトおよびパイレックスガラスを使用した参照電極を用いて、LiCl-KCl 共晶塩中（以下、単に共晶塩と表わす）に  $\text{UCl}_3$  を溶解した電気化学セルの U 電極-参照電極間の電位を測定し、共晶塩温度および  $\text{UCl}_3$  濃度の影響を調べた。また同じ構造の参照電極を調整し、同一セルに浸漬した時間に対する安定性や液絡部材質による違いも併せて検討した。

## 2 実験方法

### 2.1 試料

$\text{LiCl}-\text{KCl}$  共晶塩(組成は  $\text{LiCl}$  58 mol% :  $\text{KCl}$  42 mol%)は、米国 APL (Anderson Physics Lab.) 社の製品であり、純度 99.99%以上、含有水分濃度が 50 ppm 以下、平均直径 10 Mesh の粒状のものである。参照電極に用いた  $\text{AgCl}$  は、純度 99.999% の粉末を温度 423K で 5 時間真空乾燥して使用した。 $\text{Ag}$  線( $\phi 1.0\text{ mm}$ )は、純度 99.99% のものを用いた。参照電極液絡部のムライト( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ )は、(株)ニッカトー製の純度 95%以上のものであり、外径 4、内径 3、長さ 150、肉厚 0.5 mm の一方を封じた管を用いた。ムライト管は参照電極製造に先立ち空气中 1073K で 2 時間加熱し、有機物を除去した。液絡部の材質としてムライト以外にパイレックスガラスを試験した。U 電極に用いた金属 U は純度 99.9%であり、巾 5、厚さ 2、長さ 25 mm の板状に加工した。金属表面の酸化物は濃硝酸で溶解して取り除いた。さらに使用する直前にグローブボックス内で金属 U の全表面を #800 および #1200 のエメリーペーパーで研磨した。その後、Ta 棒(純度 99.95%、直径 6 mm)の端部にスリットを入れたものに上記の U 板を挟み込み U 電極とした。参照電極および U 電極の調整やセルの構成に伴う作業、試薬等の取り扱いはすべて酸素濃度 2 ppm 以下、露点 -75°C 以下(水分濃度 2 ppm 以下)の Ar 雰囲気のグローブボックス内で取り扱った。

$\text{UCl}_3$  を次の手順で製造した。製造に用いた水素は純度 99.99% 以上、He は 99.999% のものを使用し、以下の手順で酸素および水分を除いた。最初に酸素吸収カラムを通して酸素濃度を 0.5 ppm 以下にし、さらに液体窒素で冷却した。

水素と純度 99.9% の金属 U 片とを 523K で反応させて  $\text{UH}_3$  を合成した。次に He 中 723K または真空中 593K で  $\text{UH}_3$  から水素を除いて粉末金属 U に還元した。純度 99.999% の塩素の水分を除去するために塩化水素用ドライカラムを通して、粉末金属 U とを 523K で反応させて  $\text{UCl}_4$  を調整した。 $\text{UCl}_4$  の U と Cl の組成比は化学分析で 1 対 4.00 と得られた。 $\text{UCl}_4$  を還元して  $\text{UCl}_3$  を製造するために Zn 粉末を用いた。純度 99.99% 以上の粒径約 100 Mesh の Zn 粉末を  $\text{UCl}_4$  に対して 20% から 50% 多めにして両者を混合した。この粉末をパイレックスガラス管に入れて真空度を  $10^{-2}$  Pa 以下にした後、溶封した。この溶封管を 693K で 7 日間保持することにより、 $\text{UCl}_4$  を還元した。この間、1 日 2~3 回溶封管を振って粉末が固まらないようにした。この操作で過剰の Zn、反応生成物である  $\text{ZnCl}_2$  および未反応で残った  $\text{UCl}_4$  が  $\text{UCl}_3$  と分離されずに残る可能性があるので、引き続き同溶封管を 44 時間、813K に保持した。製造した  $\text{UCl}_3$  粉末は、新しいパイレックスガラス管に入れて溶封して 2 日間、813K に保持して Zn、 $\text{ZnCl}_2$  および  $\text{UCl}_4$  が低温部に凝縮しないことを確認した。製造した  $\text{UCl}_3$  は X 線回折により同定した。また、 $\text{UCl}_3$  以外の X 線回折ピークが認められることと  $\text{UCl}_4$  段階の化学分析の結果から含まれる不純物量は少ないと思われる。

## 2.2 参照電極の製法

本研究で使用した参照電極 A および参照電極 B の構造を第 1 図に模式的に示す。以下に参照電極 A の調整法を示す。用いる溶融塩は  $\text{AgCl}$  と  $\text{LiCl-KCl}$  共晶塩を混合したもので、 $\text{AgCl}$  の混合割合が 9.1 mol% になるように調整した。前記の混合粉末をムライト管に入れ、次いで直径 1mm の Ag 線を挿入して真空中 ( $10^{-2}$  Pa 以下)、773K で混合粉末を 30 分間溶解した。溶解中にムライト管および Ag 線を振動させて溶融塩中の気泡を取り除いた。共晶塩部の深さは約 2 cm とした。この深さを選択したのはセル中での共晶塩液面と参照電極内の共晶塩液面の高さを同じ程度にするためである。混合粉末を真空溶解する工程以外の一連の作業は、Ar 雰囲気のグローブボックス内で行った。調整した参照電極は、保護管の割れがないこと、溶融塩の溶解状態および Ag 線が正常に挿入されていることを確認するために X 線撮影を行った。第 2 図(a)に X 線写真を示す。参照電極 A の写真で、溶融塩表面近くに見られる銀線表面の針状物質は溶融塩内にある銀線が溶解し、再び析出したものである。この析出物は電位測定を妨害しないことを確認した。

液絡部にパイレックスガラスを使用した参照電極 B も上記方法と同様にして調整した。構造を第 1 図の(b)に示す。参照電極 B の塩の深さは約 1 cm とした。ムライト管の場合より浅くしたのは、共晶塩の量(深さ)が多いと溶融塩を冷却する際の固化および再融解の過程の体積変化により電極先端部の薄いパイレックスガラスが破損する恐れがあるためである。また、電極部の Ag 線とパイレックスガラス管が直接、接触して破損しないように両者の間に純度 95% のアルミナ管を挿入した。電極先端のパイレックスガラス部の厚さは第 2 図(b)の X 線写真に

示すように約 0.3 mm であった。

## 2. 3 実験装置

セル : U(s) | UCl<sub>3</sub>, LiCl-KCl || LiCl-KCl, Ag<sup>+</sup> | Ag(s)について U 電極 - 参照電極間の電位を測定するために、第 3 図に示す電気化学セルを用いた。

セル容器はアルミナ(純度 99%以上で直径 45 mm、高さは 100 mm)製で、有機物を除去するために空气中で 1073K、3 時間加熱した。その後、共晶塩 100 g(1.8 mol)に所定量の UCl<sub>3</sub> { 0.35 × 10<sup>-3</sup>、1.53 × 10<sup>-3</sup>、4.31 × 10<sup>-3</sup> および 1.638 × 10<sup>-2</sup> mol/(LiCl-KCl) mol} を加えて加熱、溶解した。溶解後の塩の深さは約 4 cm とした。

U 金属電極は、板状の U 金属を Ta 棒の先端に挟んだものを用いた。U 金属は Ta 棒から 2 cm 突き出ており、そのうち先端部 1.5 cm が溶融塩に浸漬するようにした。

実験中、電気化学セル内に高純度 He を 40 ml/min の流量で流した。用いた He は UCl<sub>4</sub> 合成に際して使用したガスと同じプロセスで酸素および水分を除去した。電気化学セルを、マントル炉を使用して底部および側面から加熱し、側面上部の加熱量を調節してセル内部の温度勾配を低減するようにした。セルの温度測定には、直径 1 mm の K タイプの熱電対をパイレックスガラス管で保護したものを用いた。塩中央部の温度が 773K の時、塩表面近くおよび塩底部の温度差はそれぞれ 2K 以下であった。

電位測定には、アドバンテスト社製振動容量型デジタル・エレクトロメータ TR 8411 型を用いた。本測定装置の入力インピーダンスは 10<sup>15</sup> Ω 以上、電位のドリフトは 0.001 V/日以下である。電位測定中に加熱炉の電流および温度制御電流をそれぞれ ON、OFF と切り換えると、測定値は変動しなかった。

## 3 結果

### 3.1 電位の経時安定性

参照電極 A および B を用いて、673~773K の範囲の一定温度で電位を測定した。第 1 表に UCl<sub>3</sub> 濃度が 0.35 × 10<sup>-3</sup> mol/(LiCl-KCl) mol の実験結果を、第 2 表に UCl<sub>3</sub> 濃度 1.53 × 10<sup>-3</sup> mol/(LiCl-KCl) mol の実験結果をまとめた。第 1 表に示した実験では、塩を 630K 前後で溶解した後、773 K まで昇温し、参照電極を塩中に挿入して電位が平衡値に達した後、773 K から順次温度を下げながら各温度で平衡に達した電位を測定した。このときの 773 K における参照電極挿入後の電位の時間変化を第 4 図に示す。参照電極 B および参照電極 A は約 10 時間で一定の電位に達した。第 2 表に示した実験では、630K 前後で溶解して 673 K で参照電極 A を塩中に挿入して約 22 時間で平衡に達した後、参照電

極 B を塩中に挿入して電位を測定した。このときの 673 K における参照電極挿入後の経過時間に対する電位変化を第 5 図に示す。参照電極 A の平衡到達時間は約 20 時間、参照電極 B の平衡到達時間は約 4 時間であった。以上の結果から、①セルが安定するには長時間を要すること、②一度安定したセルは、温度をえてもすみやかに安定な電位を示すこと、③新しい参照電極を塩に挿入後、電位が安定するには 4~5 時間要することがわかった。

第 2 表の実験で用いたセルをそのまま使用して、引き続いて 773 K から 673 K まで降温したときに測定した結果を、第 3 表に示す。第 2 表の結果と比較して、参照電極 A および参照電極 B いずれを用いても測定した電位は 0.001 V 以内の差で一致しており、ヒステリシスは認められなかった。

参照電極の長時間安定性を確認するため、参照電極を 773 K の塩中に 160 時間浸漬した。その後、塩を新しいものと交換し、同じ参照電極を挿入して電位測定した。電位は 0.003 V 以内の変動で一致しており、参照電極は少なくとも 200 時間は、安定であることが分かった。参照電極中の(LiCl-KCl-AgCl)共晶塩に接触している Ag 線は、200 時間で大半が溶融して上部に析出する。このとき Ag 線は保護管ないの(LiCl-KCl-AgCl)共晶塩上部にわずかに接している状態であるが、その場合でも電位に変動は認められなかった。

### 3.2 UCl<sub>3</sub> 濃度と電位の関係

UCl<sub>3</sub> 濃度を変えて測定した電位を、第 4 表に一覧した。各 UCl<sub>3</sub> 濃度における電位と溶融塩温度との相関を第 6 図に示す。塩温度の上昇に伴い電位が直線的に上昇する。また、この図で Knacke(補正值)として示した点は、報告値<sup>(6)</sup>から次の手順で計算した値である。Knacke 等の電気化学セルの構成は本実験と同じであるが、参照電極の AgCl 濃度は 3.78 mol% である。(本研究では 9.1 mol%) 両者の AgCl 濃度の活量係数の差は小さいとして AgCl 濃度効果の補正した。第 7 図に UCl<sub>3</sub> 濃度の対数と電位の関係を示す。塩中の UCl<sub>3</sub> の活量係数が実験の濃度範囲で変わらないとして、図の直線の傾きから見掛けの U の値数を求めた。得られた結果を第 4 表の備考欄に示す。673~773 K の温度範囲および本研究の UCl<sub>3</sub> 濃度範囲でいずれも 3.2 と得られた。(LiCl-KCl)共晶塩中での U の値数について坂村等<sup>(7)</sup>は UCl<sub>3</sub> 濃度範囲が 10<sup>-3</sup>~10<sup>-1</sup> mol%、温度範囲が 673~723 K で 3.06 ~ 3.28 と報告している。

### 3.3 参照電極電位の変動

参照電極間における電位の変動を調べるために、参照電極 A 2 個を同時に溶融塩に挿入して測定を行った。すなわち、参照電極 1 個を基準として 200 時間溶融塩中に挿入した。同時に比較の参照電極 1 個を 36.5~73.8 時間の範囲で次々に挿入し、各々の電位を測定した。第 5 表に結果を示す。これらのデータのうち、参照電極番号 20 の電位は他の結果と比較して明らかに低い値を示している。そこ

でこの結果が異常値か否かを検討した。アメリカ機械学会性能試験規約（A S M E）の「計測の不確かさ」(Measurement Uncertainty) である異常値の判定法<sup>(8)</sup>を適用してこれを異常値と判定した。

したがって、第 5 表でこの値を除いた標準偏差が本実験に用いた参照電極電位のばらつきの程度であり 0.003 V となる。

### 3.4 液絡部材質の違いの影響

第 1、第 2 票表に示したとおり、液絡部材質としてムライト(参照電極 A)およびパイレックスガラス(参照電極 B)を用いた参照電極について測定した電位の偏差は、0.003 V 以下であった。3.3 に参照電極電位の再現性を考慮すると、液絡部の隔膜材質は参照電極の特性を左右しないことがわかった。

## 4 まとめ

セル : U(s)|UCl<sub>3</sub>, LiCl-KCl || LiCl-KCl, Ag<sup>+</sup>|Ag(s)において Ag/(AgCl, LiCl-KCl) 参照電極の電位を 673K から 773K まで測定した結果、塩に挿入後 10~20 時間で平衡になり、その後約 200 時間安定した値を示すことが分かった。Ag/(AgCl, LiCl-KCl) 参照電極製造によるばらつきの程度は標準偏差で 0.003V と得られた。参照電極の液絡部にムライトおよびパイレックスガラスを用いた結果から、両者の差は 0.003V 以下と小さかった。UCl<sub>3</sub> 濃度を変えた実験からセル温度の上昇にともない電位は直線的に増加すること、また塩中の見掛けの U の値は 3.2 であることがわかった。

## 謝　辞

本研究は、日本原子力研究所および動力炉・核燃料開発事業団の共同研究として実施されたものである。実験に用いたガラス製装置の作成について協力を頂いた物質科学研究部分析センター小原和弘氏に感謝します。また、本研究を通じて配慮、激励をしてくださった融体・燃料プロセス研究室小川徹室長、勝田博司物質科学研究部長および融体・燃料プロセス研究室の方々に感謝します。

## 参考文献

- (1) 例えば、社団法人、電気化学協会編著.：“電気化学測定法”,114  
一瀬 光之尉 “溶融塩における照合電極の諸問題”(1972)
- (2) 沼田 博雄、西方 篤、春山 志郎、：“溶融塩中における腐食の電気  
化学” Boshoku Gijutsu, 33, 103 (1984)
- (3) D.S.Poa, Z.Tomczuk and R.K.Steunenberg  
J.Electrochem.Soc.: ELECTROCHEMICAL SCIENCE AND  
TECHNOLOGY, Vol.135, No.5 1161 (1988)
- (4) 木下 賢介、坂村 義治、小林 邦明、井上 正、：電力中央研究所報  
告、  
T93078 “長半減期核種の乾式分離技術の開発”(1994)
- (5) J.BRAUNSTEIN, GLEB.MAMANTOV and G.P.SMITH, : “ADVANCES IN MOLTEN  
SALT CHEMISTRY Volume 3” Chapter 4 ,(1981)
- (6) O.Knacke,J.Krahe and F.Muller,: “Aktivitat von UCl<sub>3</sub> in der  
Eutektischen Schmelze LiCl-KCl” Z.fur Physik. Neue Folge, 50,  
91(1966)
- (7) 坂村 義治、宮代 一、坂田 昌弘、井上 正、他、：電力中央研究所  
報告、T92012 “長半減期核種の乾式群分離技術の開発”(1992)
- (8) The American Society of Mechanical Engineers, “ASME Performance  
Test Code Supplement on Instruments and Apparatus, Part 1  
Measurment Uncertainty” ,(1985).

第 1 表

参照電極と U 電極間の電位測定結果 I

実験 1	$\text{UCl}_3/(\text{LiCl}+\text{KCl})=3.5 \times 10^{-4}$ (mol ratio)			備考	
参照電極の種類	673K	698K	723K	748K	
	塩 温 度				
参照電極 A	-1.647(10min) -1.646(30min)	-1.640(10min) -1.640(30min)	-1.635(10min) -1.635(30min)	-1.629(10min) -1.629(125min) -1.629(155min)	-1.617(10min) ( )は設定温度到達後の時間 -1.618(1.0h) -1.619(4.67h) -1.620(5.17h) -1.621(7.5h) -1.623(12.75h) -1.623(17.16h) -1.623(18.25h)
参照電極 B	-1.643(10min) -1.643(30min)	-1.637(10min) -1.637(30min)	-1.632(10min) -1.632(30min)	-1.626(10min) -1.626(125min) -1.626(155min)	-1.614(10min) -1.614(1.0h) -1.616(4.67h) -1.617(5.17h) -1.618(7.5h) -1.619(12.75h) -1.619(17.16h) -1.620(18.25h)
Knacke		-1.571	-1.562	-1.554	参照電極 AgCl 濃度 3.78 mol% (773Kから温度を下げて測定)
同補正值		-1.626	-1.619	-1.613	AgCl濃度 9.1mol% に補正 (単位はV)

第 2 表

## 参照電極とU電極間の電位測定結果 II

実験 2		$\text{UCl}_3/(\text{LiCl}+\text{KCl})=1.53 \times 10^{-3}$ (mol ratio)				備 考
参照電極の種類	温度	673K 塩	698K 温	723K 度	748K	773K
参照電極 A	-1.630(30min)	-1.609(10min)	-1.602(5min)	-1.595(5min)	-1.588(10min)	( )は設定温度到達後の時間
	-1.625(17.5h)	-1.608(60min)	-1.602(55min)	-1.595(75min)	-1.588(50min)	
	-1.619(21h)					
	-1.615(21.5h)					
	-1.614(24h)					
	-1.613(25h)					
	-1.613(30h)					
	-1.613(38h)					
	-1.636(10min*)	-1.606(10min)	-1.599(5min)	-1.592(5min)	-1.586(10min)	673K参照電極 A
	-1.632(50min*)	-1.606(60min)	-1.599(55min)	-1.592(75min)	-1.586(50min)	参照電極 Bを挿入、22h後に
参照電極 B	-1.623(2h*)					
	-1.611(6.5h*)					*
	-1.611(14.5h*)					参照電極挿入後の経過時間
Knacke		-1.540		-1.531	-1.522	参照電極 AgCl 濃度 3.78 mol%
同補正値		-1.595		-1.588	-1.581	AgCl濃度 9.1 mol% に補正

(673Kから温度を上げて測定)  
(単位はV)

第 3 表 昇温時および降温時の測定結果 (実験 2)

実験 2	$UCl_3/(LiCl+KCl)=1.53 \times 10^{-3}$ (mol ratio)	備考
測定塩温度	673K	723K
測定条件	673Kで融解後 測定	773Kから降温後 測定
参照電極A	-1.613(38h) -1.613(45min)	673Kから昇温中 測定 773Kから降温中 測定
参照電極B	-1.611(38h) -1.612(45min)	-1.602(5min) -1.602(55min) -1.602(55min) -1.599(5min) -1.599(55min) -1.599(55min)

(単位はV)

第 4 表 参照電極とU電極間電位のUCl<sub>3</sub>濃度依存性 (参照電極 A)

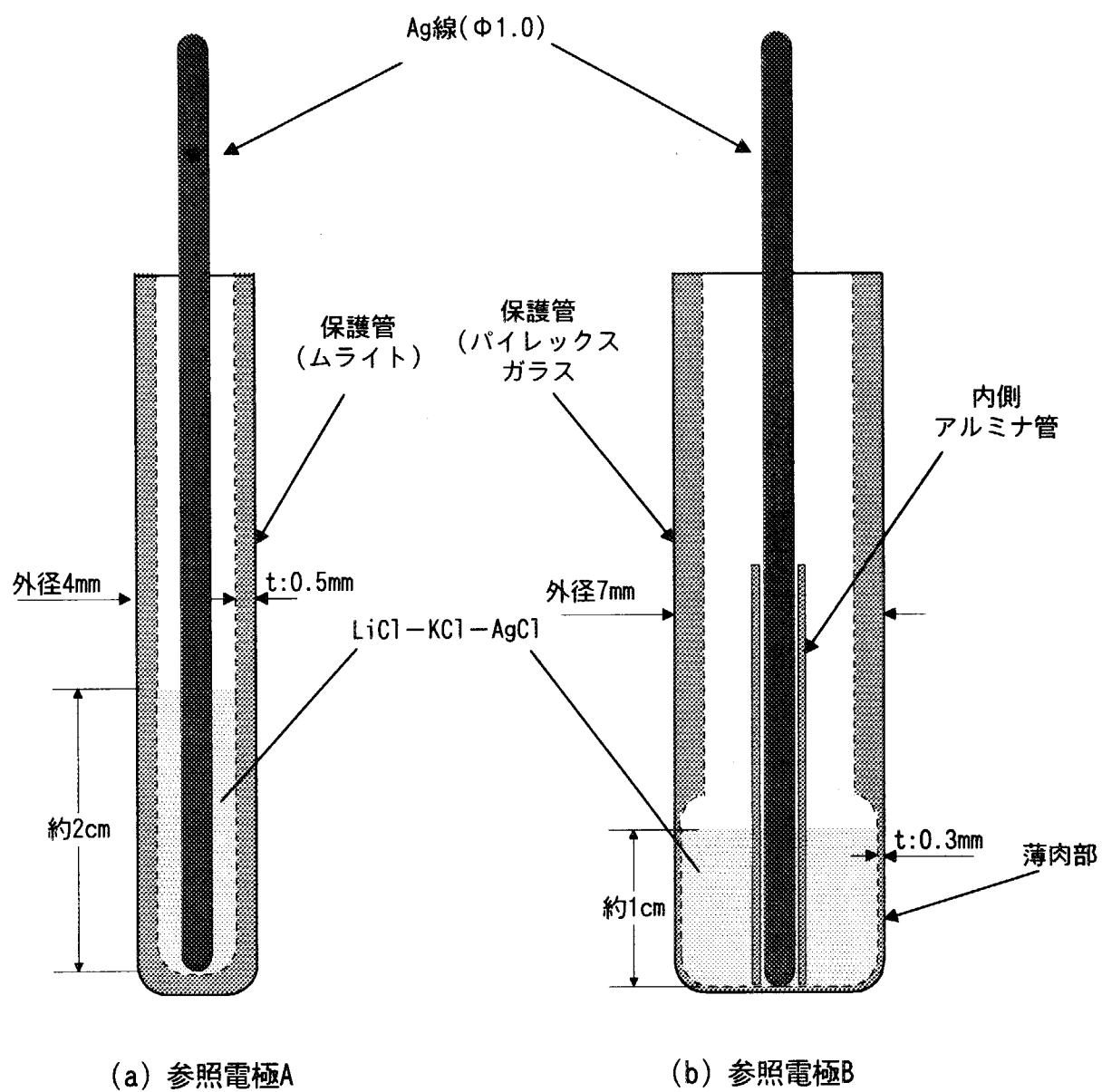
温度(K)	UCl <sub>3</sub> 濃度 (mol/LiCl-KCl)				備 考 Uの値数*
	0.00035	0.00153	0.00431	0.01638	
673	-1.646	-1.613	-1.602	-1.576	3.27
698	-1.64	-1.608	-1.595	-1.567	3.24
723	-1.635	-1.602	-1.589	-1.559	3.22
748	-1.629	-1.595	-1.582	-1.55	3.22
773	-1.623	-1.588	-1.573	-1.542	3.23

\*ネルンストの式で活量係数がUCl<sub>3</sub>濃度に依存しないとして計算

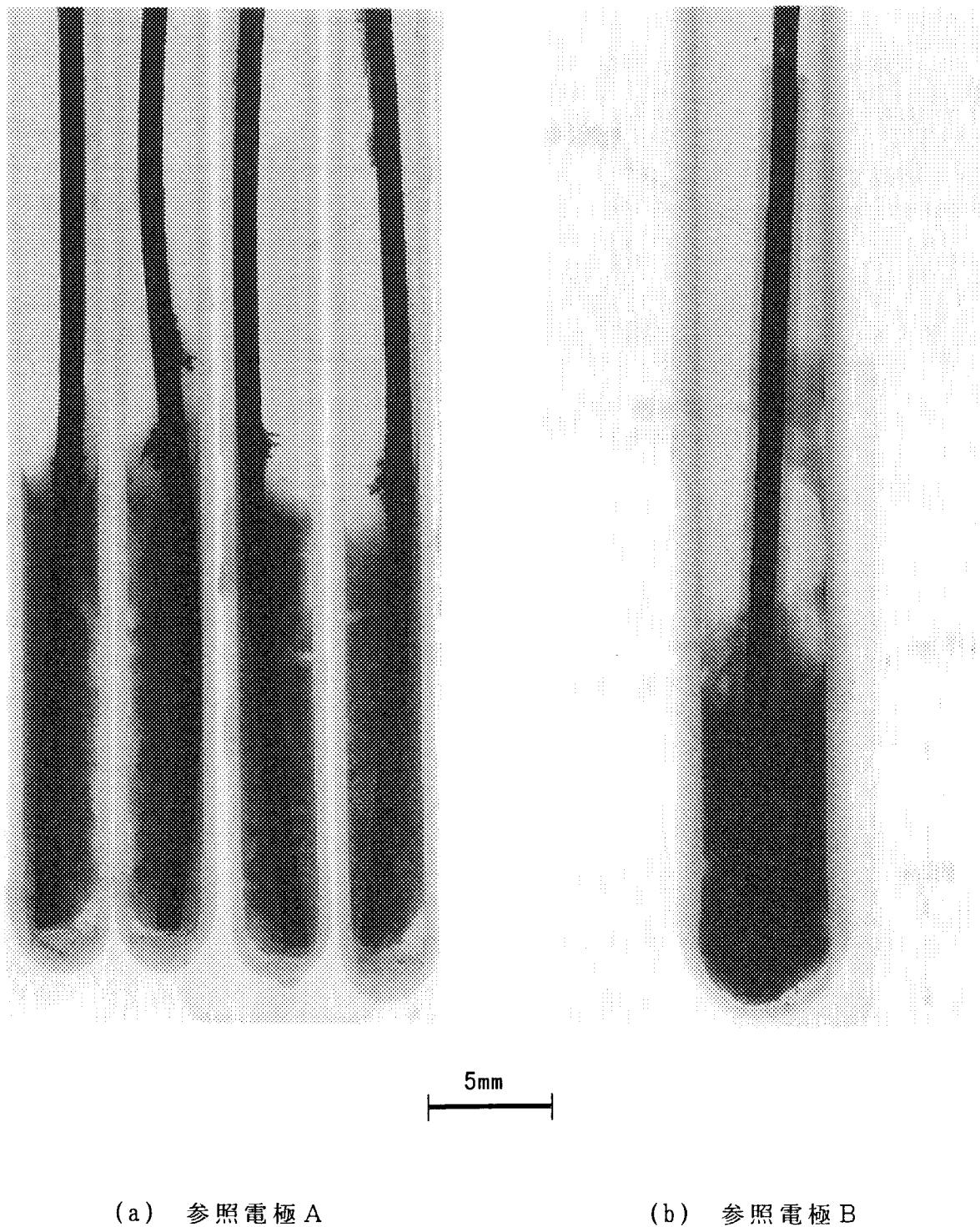
第 5 表 参照電極間の電位変動 (参照電極 A)

UCl<sub>3</sub>濃度 :  $3.54 \times 10^{-3}$  mol/(LiCl-KCl) (773K)

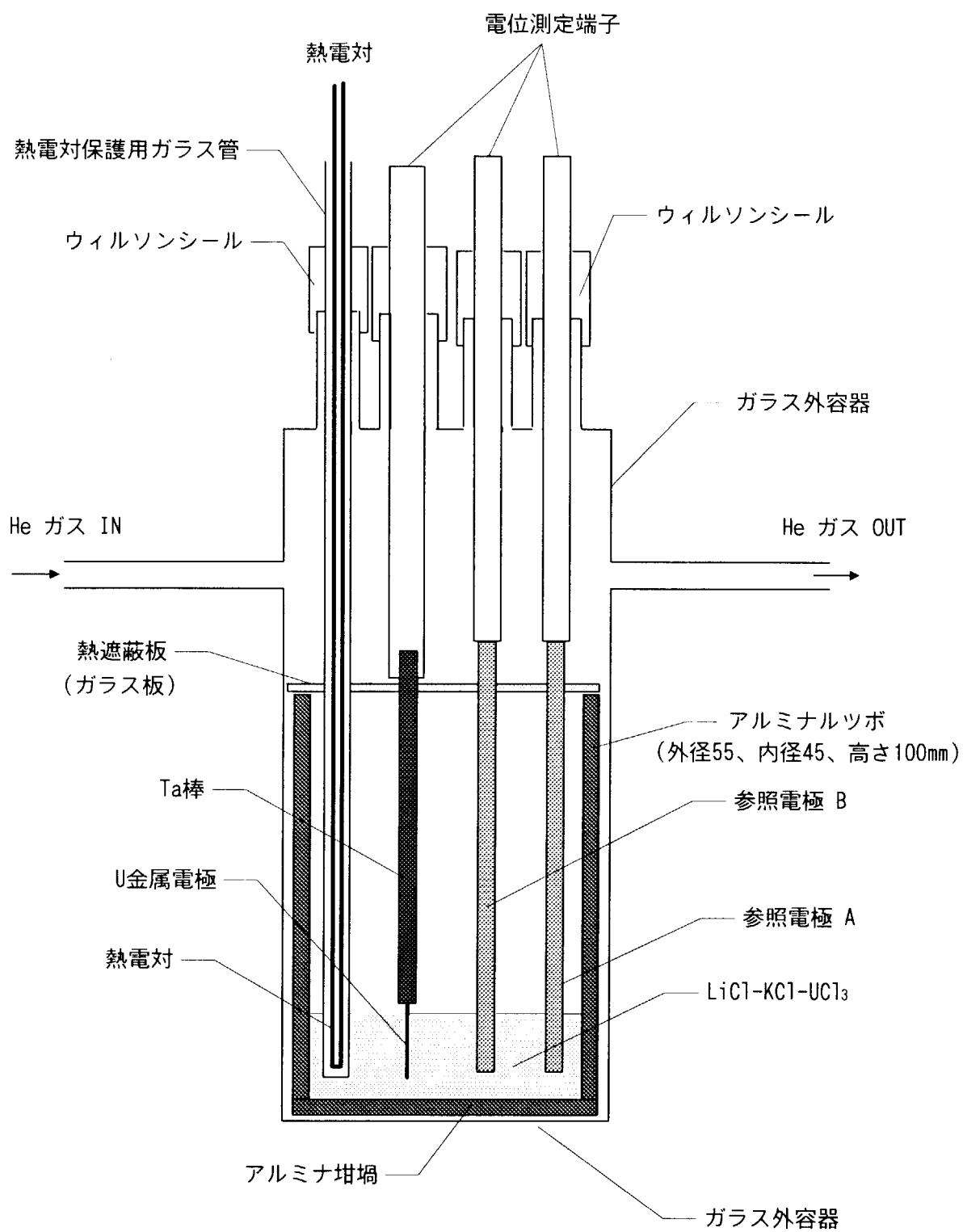
実験番号	参照電極番号	浸漬時間(h)	電位(V)	No.20の累積時間(h)	備 考
I - 1	20	36.5	-1.635	36.5	
	23	36.5	-1.628		
I - 2	20	44	-1.635	80.5	
	24	44	-1.621		
I - 3	25	18.5	-1.623		
	29	18.5	-1.623		
I - 4	20	73.8	-1.635	154.3	
	28	73.8	-1.619		
セルの塩入替	No.20の累積時間で155h。 UCl <sub>3</sub> 濃度は上記の実験 I と同じ				
II - 1	20	46	-1.634	200.3	
	29	46	-1.623		
電位変動のまとめ					
参照電極番号	浸漬時間(h)	電位(V)		備 考	
20	36.5	-1.635		200hまで電位は同じ	
23	36.5	-1.628			
24	44	-1.621			
25	18.5	-1.623			
28	73.8	-1.619			
29	46	-1.623			
平均値		-1.625	標準偏差	0.006	
No.20を除いた平均		-1.623	標準偏差	0.003	



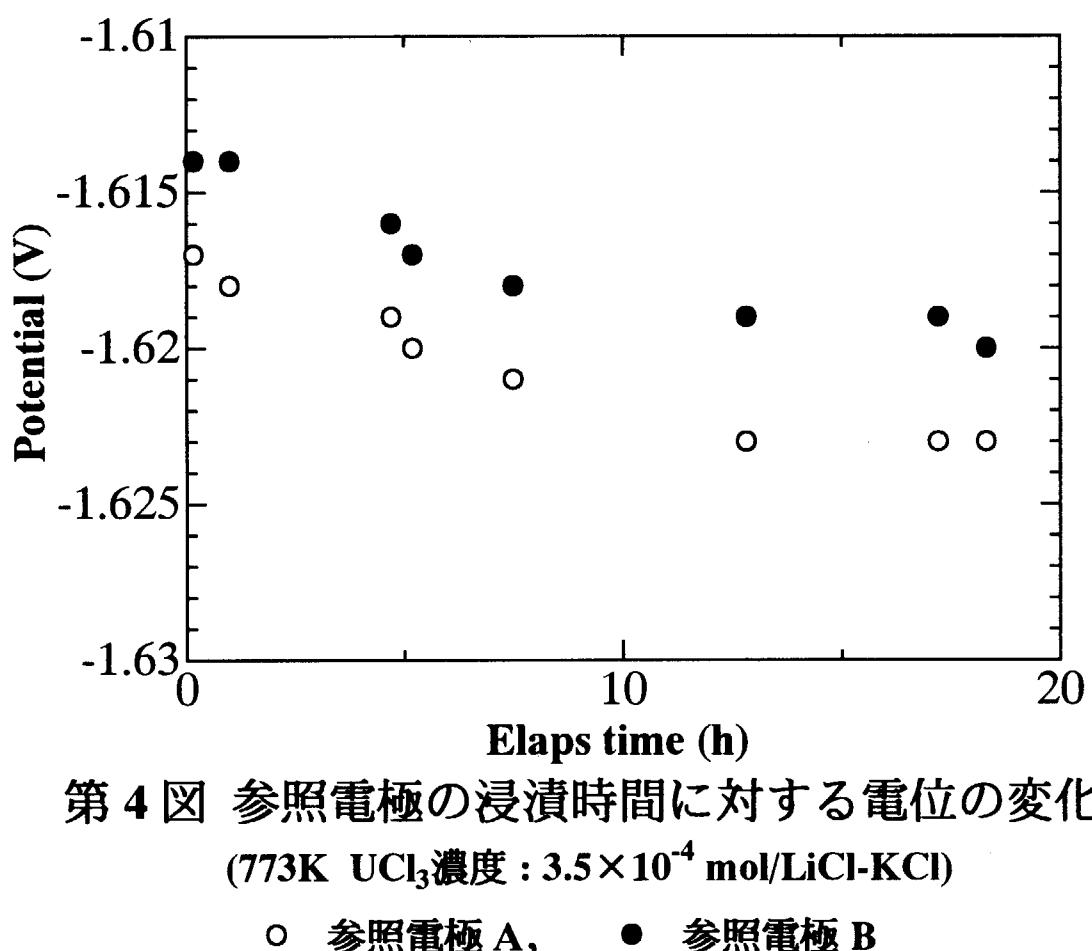
第1図 参照電極の構造

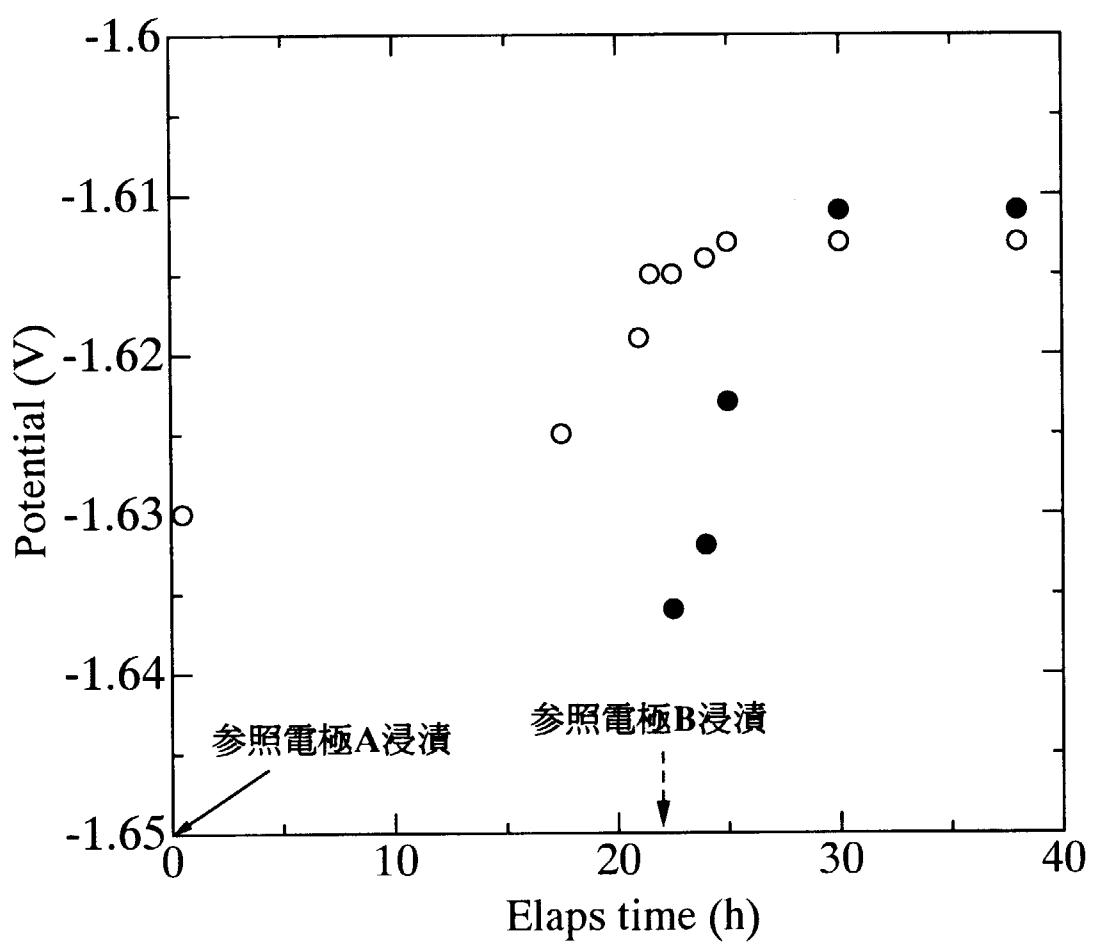


第 2 図 參照電極の X 線写真



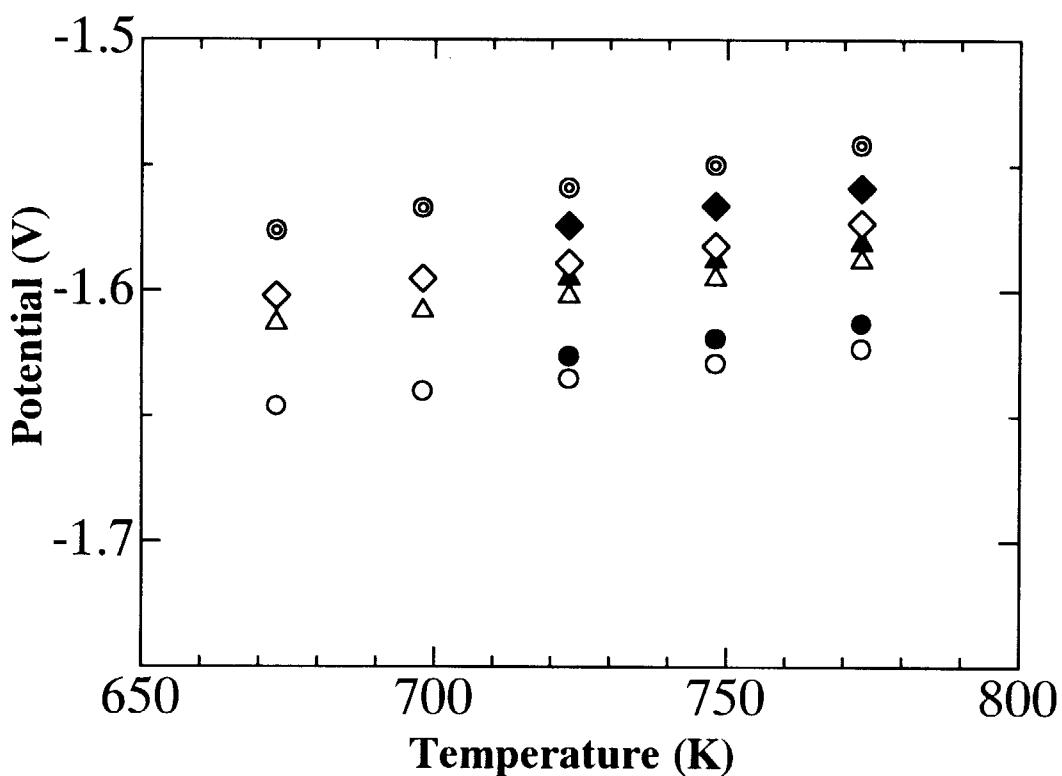
第3図 電気化学セルの構造





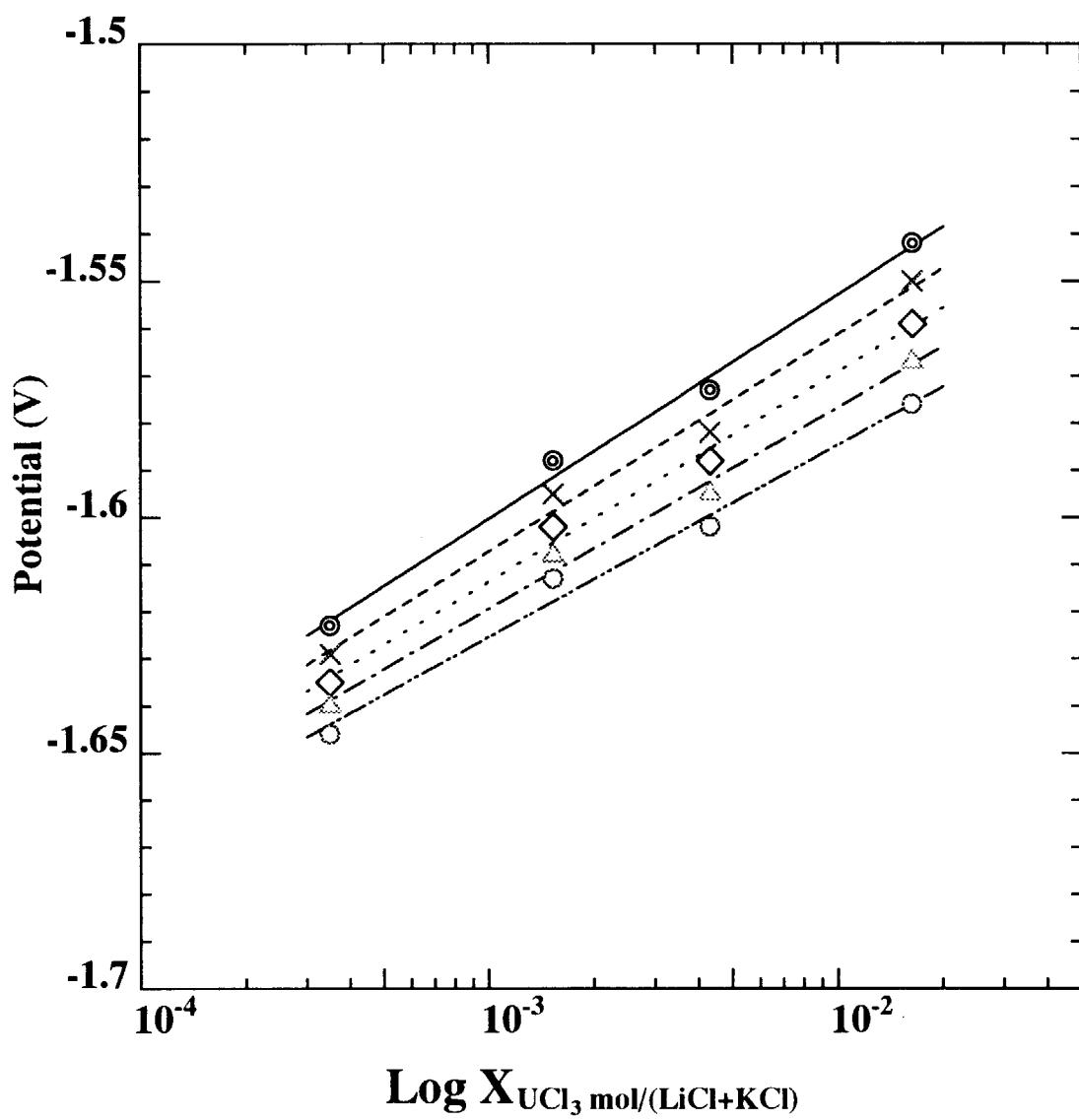
第5図 参照電極の浸漬時間に対する電位の変化  
( $673\text{ K }$   $\text{UCl}_3$ 濃度 $1.53 \times 10^{-3}\text{ mol/LiCl-KCl}$ )

○ 参照電極 A, ● 参照電極 B



第6図 参照電極とU電極間電位の温度依存性  
参考電極 (Ag/0.091AgCl)

- $\text{UCl}_3$  0.00035 mol/(LiCl-KCl), △  $\text{UCl}_3$  0.00153 mol/(LiCl-KCl),
- 同上 Knacke(補正值), ▲ 同上 Knacke(補正值),
- ◇  $\text{UCl}_3$  0.00431 mol/(LiCl-KCl),
- ◆ 同上 Knacke (補正值), ◎  $\text{UCl}_3$  0.01638 mol/(LiCl-KCl)

第7図 参照電極とU電極間電位の $\text{UCl}_3$ 濃度依存性

参照電極(Ag/0.091AgCl)

○ 673K,	△ 698K,	◇ 723K,
× 748K,	◎ 773K	

This is a blank page.

## 国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	kg·m/s <sup>2</sup>
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
工率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーケンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
放光度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名 称	記 号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

## 換 算 表

力	N(=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
9.80665		1	2.20462
4.44822	0.453592		1

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 1 \text{ P(ポアズ)}(\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)}(\text{cm}^2/\text{s})$$

圧力	MPa(=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg(Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 <sup>3</sup>	145.038
	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>
	6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)
	1	0.101972	2.77778 × 10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813 × 10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150 × 10 <sup>18</sup>	= 4.184 J(熱化学)
	9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>19</sup>	= 4.1855 J(15 °C)
	3.6 × 10 <sup>6</sup>	3.67098 × 10 <sup>5</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>25</sup>	= 4.1868 J(国際蒸気表)
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>19</sup>	仕事率 1 PS(仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>	= 735.499 W
	1.60218 × 10 <sup>-19</sup>	1.63377 × 10 <sup>-20</sup>	4.45050 × 10 <sup>-26</sup>	3.82743 × 10 <sup>-20</sup>	1.51857 × 10 <sup>-22</sup>	1.18171 × 10 <sup>-19</sup>	1	

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
	1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>		1	100
	3.7 × 10 <sup>10</sup>	1		0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

(86年12月26日現在)

