

JNC TN7400 2005-022

~~PNC PN7440 96 005~~

10

社内資料

図書室

# 平成7年度技術開発課年報

1996年4月

動力炉・核燃料開発事業団  
東濃地科学センター・技術開発課

~~この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。については複製、転載、引用等を絶対に行わないよう、また、第三者への開示または内容漏洩がないよう管理して下さい。また、今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。~~

~~本資料についての問い合わせは下記に願います。~~

~~〒509-51~~

~~岐阜県土岐市泉町定林寺園戸959-31~~

~~動力炉・核燃料開発事業団~~

~~東濃地科学センター 技術開発課~~

## 要 旨

本報告書は、技術開発課が平成7年度に実施した研究開発業務の内容を取りまとめたものであり、探鉱と採鉱に関連する技術開発と、地層科学研究に関連する技術開発、および両分野に共通的な業務、の三つに分類して報告した。

### A. 探鉱・採鉱に関連する技術開発では、

(1)ウラン探査技術開発として、①カナダ・アサバスカ地域のオフコンダクター鉱床に対応した探査手法や、より高度な電磁探査法などを検討した。②解析技術であるソフトウェアの高度化を図るため、所有する4本の3次元電磁法シミュレーションソフトについて、特性解析を行い、理論値との比較検討を行った。③岩石表面の粘土鉱物と反射スペクトルの関係について室内実験を実施した。④オーストラリアの空中電磁探査を妨害する低比抵抗のラテライトと植生の分布状況を、事前に衛星画像から抽出して、探査計画に利用した。

(2)採鉱技術開発では、⑤過去のカーボンデータを利用して西濃地域の地質と環境放射線量との関係をマップにまとめた。⑥ICRP Publ. 65に対応するため、東濃鉱山・坑内外でラドンガスの平衡係数を実測し、一様ではないことを明らかにした。

(3)分析技術開発では、新しい高性能分析装置である⑦ICP質量分析計と⑧ガスクロマトグラフ質量分析計について、情報収集やテスト分析を行った内容を報告した。

### B. 地層科学研究に関連する技術開発では、

(1)調査機器開発として、①1,000m対応水理試験装置と地下水地化学特性調査機器の現場試験により、装置性能が設計通りであることを確認した。②従来の装置は孔内環境温度を50℃までしか想定していなかったが、発熱防止型電磁バルブの設計試作や各部の見直しを行って、+70℃まで対応できる第2号機の設計を行った。③チタン配管を用いるとケーシングとロッドの重量が約半分になり、操作性や機動性が向上することが判った。④深度50mまでの試錐孔間で、正弦波注水などによる水理試験を行う装置の製作が終了した。⑤1,000mまでの地下水を長期にわたって採水したり、間隙水圧を観測するモニタリング装置のインナープローブを設計した。

(2)調査技術の高度化では、⑥ハイドロフォンVSPの適用試験を行い、透水性割れ目を調査した結果、火薬の半分しか振幅がない機械式震源でも解析時に信号の増幅を行うことで500mまでチューブ波の観測が可能であった。⑦試錐孔用広帯域レーダープローブの適用試験で、坑道周辺の割れ目や空間的な位置の把握が、従来の装置より高精度に行えることを確認した。⑧き裂や地下水の状態変化を把握できる比抵抗トモグラフィについて、掘削された坑道の影響を除去するプログラムを開発した。⑨McOHM21による比抵抗トモグラフィで高比抵抗岩盤を測定する際の留意事項について報告した。

(3)試錐掘削技術は、孔曲がり防止法や清水での掘削技術について、⑩動向調査と⑪情報収集を行った。また、⑫DH-3号孔の試錐検層データの解析によって、孔曲がり原因の推定をおこなった。

### C. 共通的な業務では、①東濃鉱山での環境整備や保坑整備の状況、②図書が行っている技術資料や外部発表、書籍などの購入・登録・分類・整理および文献複写やオンライン情報検索など、を報告した。また、③昨年度に実施した分析業務の概要も報告した。

# 目次

|   |     |
|---|-----|
| 1. はじめに   | 1   |
| 平成7年度 技術開発課 組織図   | 2   |
| 技術資料登録一覧  | 4   |
| 外部発表一覧  | 8   |
| 特許等の公開状況  | 11  |
| 2. 探鉱・探鉱関連技術開発成果  | 17  |
| (1) 探査技術開発  |     |
| A-1 カナダ・アサバスカ地域における物理探査技術の高度化                                 | 18  |
| A-2 3次元電磁法シミュレーションソフトの特性解析                                    | 25  |
| A-3 岩石表面鉱物と反射スペクトルの関係について                                     | 35  |
| A-4 オーストラリア・北部準州キングリバー地域のランドサットTM画像の作成                        | 54  |
| (2) 探鉱技術開発  |     |
| A-5 東濃地域の地質と環境放射線の関連性に関する研究                                   | 72  |
| A-6 放射線防護探鉱技術開発に関する研究   | 77  |
| (3) 分析技術開発  |     |
| A-7 ICP-MS情報収集  | 87  |
| A-8 有機物分析装置に関する情報収集<br>(ガスクロマトグラフ: GC、ガスクロマトグラフ-質量分析計: GC/MS) | 94  |
| 3. 地層科学研究関連技術開発成果   | 119 |
| (1) 調査機器開発  |     |
| B-1 1,000m対応水理試験装置の開発   | 120 |
| -1,000m対応水理試験装置の第2回適用試験-                                      | 121 |
| -発熱防止型バルブの設計と試作・実験-   | 125 |
| -高温環境型(タイプII)1,000m対応水理試験装置の開発-                               | 129 |
| B-2 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の開発                                 | 132 |
| -AN-1号孔における現場適用試験結果-  | 133 |
| -高温環境型(タイプII)地球化学検層ユニットの設計-                                   | 137 |
| -高温環境型(タイプII)採水装置の開発-   | 139 |
| B-3 チタンケーシングパイプの設計  | 143 |
| B-4 試錐孔間水理試験装置の製作   | 146 |
| -孔内部の観測区間とロッドおよび地上部の圧力バルブと計測補助装置の製作-                          | 147 |
| B-5 大深度対応地下水の長期モニタリング装置のインナープローブの設計                           | 150 |
| (2) 調査技術の改良・高度化   |     |
| B-6 ハイドロフォンVSP調査法技術開発 -機械式震源の適用性について-                         | 156 |
| B-7 試錐孔用広帯域レーダープローブの適用試験                                      | 163 |
| B-8 比抵抗トモグラフィデータ解析技術開発 -坑道の影響の除去法について-                        | 168 |
| B-9 高比抵抗岩盤における比抵抗トモグラフィデータ取得時の留意点                             | 179 |
| (3) 試錐掘削技術開発  |     |
| B-10 試錐掘削技術に関わる動向調査   | 184 |
| B-11 試錐掘削技術に関わる文献調査   | 188 |
| B-12 DH-3号孔における孔曲がり測定結果                                       | 192 |
| 4. 共通的业务の成果   | 194 |
| C-1 東濃鉱山の維持管理   | 195 |
| C-2 図書・技術資料の管理について  | 200 |
| C-3 分析業務について  | 205 |
| C-4 東濃文書サーバ管理要領書  | 209 |

# 1. はじめに

平成7年度技術開発課組織図

技術資料登録一覧

外部発表一覧

特許等の公開状況

## 1. はじめに

平成7年4月の組織規程改訂によって、技術開発課の業務に次の2項目が付加された。(1)東濃地科学センターで行う研究及び技術開発に係わる調整、(2)地質環境に係わる調査技術開発。これらの業務は、前年度から実質的に技術開発課で実施してきたが、組織規程に明文化されたものである。

昨年までは地層科学研究室で実施してきた試錐掘削技術開発も含めて、地層科学研究に係わる技術開発業務を、技術開発課で一元的に実施するとともに、実施体制をより一層強化・拡充するために、平成7年度からは、職員2名および業務協力員2名の計4名を増員して、合計11名からなる環境技術グループを発足させた。

ウラン資源関係の技術開発については、昨年度まではウラン探査と地層科学の両分野を担当する地質工学グループから、ウラン探査技術グループを分離して4名体制で、オーストラリア不整合関連型鉱床を対象とした地球物理学的探査システムの開発等と、ラドン計測技術等を主体とした放射線防護採鉱技術開発を継続した。

東濃鉱山では、引き続き鉱山施設の更新、整備、美化に努めた。特に事務所と坑内・外との緊急連絡通報体制を確保するため、PHS 通信システムを設置した。またソフト面での整備としては、昨年度作成した東濃鉱山作業マニュアル作成要領に基づいて、全面的に各種作業マニュアルの見直しを行い、他の関係文書とともに「東濃鉱山管理資料集」として一冊にまとめた。

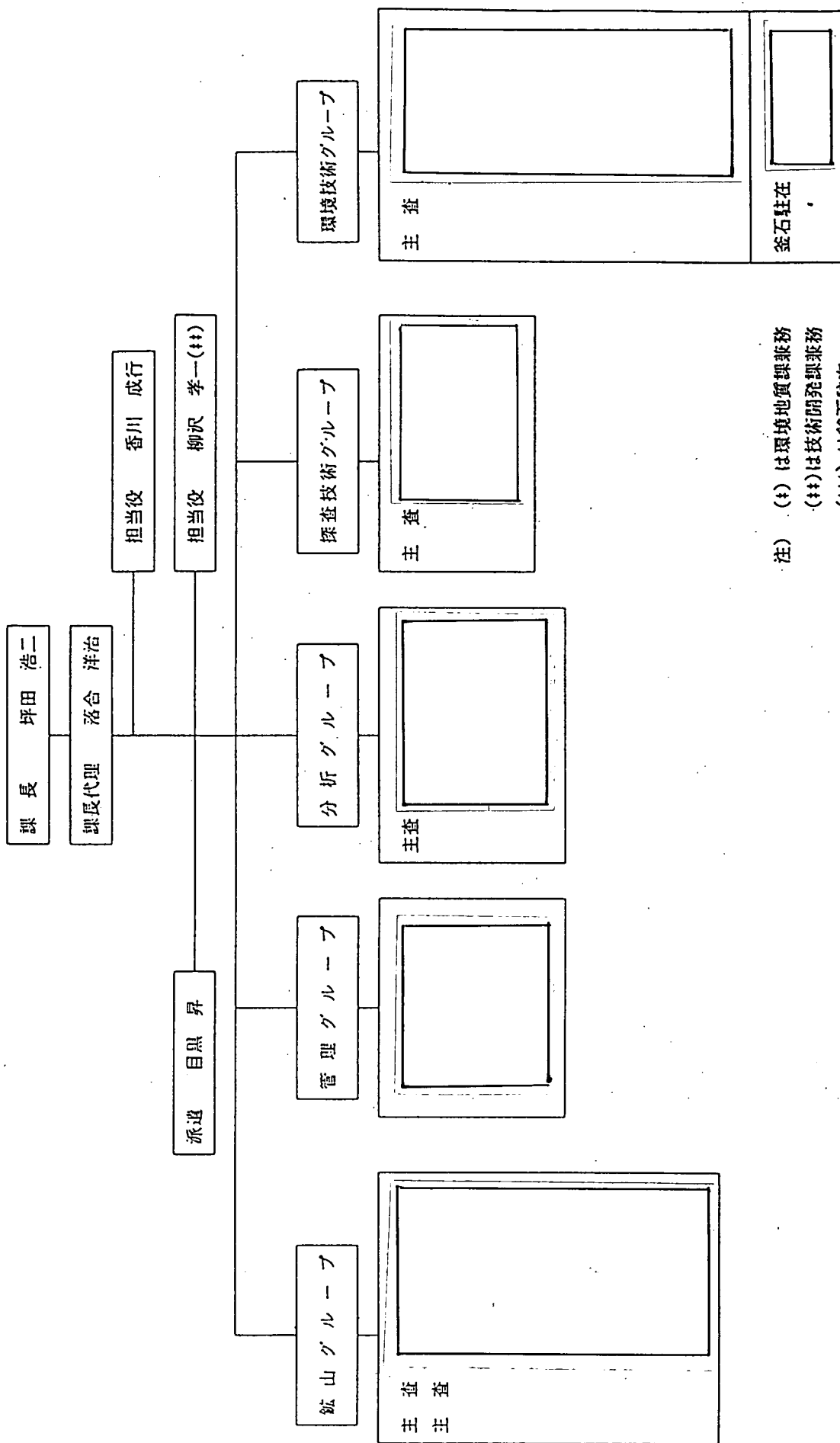
東濃地科学センター全般にわたる共通的な技術分野での支援業務に係わるトピックスとしては、事業団内外との情報伝達システムを効率化するため、事業所内基幹LAN を充実整備した。これによって、当センターでの電子メールとインターネット利用が可能となった。

平成7年度における各業務テーマ毎の成果を以下に記述する。

## 平成7年度技術開発課組織図

# 平成7年度技術開発課 組織図

平成7年4月1日



注) (†) は環境地質課兼務  
 (\*\*\*) は技術開発課兼務  
 (\*\*\*) は釜石駐在



## 技術資料登録一覧

平成7年度 技術資料登録一覧表

[社内作成資料]

| 担当者<br>発行年月    | 資料番号              | 標<br>題  |
|----------------|-------------------|---|
| 落合<br>1995年4月  | PNC PN7020 95-001 | 平成7年度 東濃地科学センター業務実施計画   |
| 落合<br>1995年4月  | PNC PN7440 95-004 | 平成6年度技術開発課年報  |
| 山岸<br>1995年5月  | PNC PN7410 95-021 | 岩石の反射スペクトルを利用したリモートセンシングデータ<br>による岩層マッピング手法の検討  |
| 野崎<br>1995年5月  | PNC ZN7440 95-003 | 試錐掘削における保孔材としてのウレタンの適応性   |
| 藪内<br>1995年6月  | PNC TN7410 95-010 | 比抵抗トモグラフィによる坑道周辺の比抵抗分布の解析手法につ<br>いて(その1)  |
| 山岸<br>1995年6月  | PNC TN7600 95-001 | コンピュータ技術のウラン探査およびウラン生産への応用  |
| 山岸<br>1995年8月  | PNC TN7410 95-036 | 航空機MSSデータを利用したスペクトル指標による岩相マッピング手法<br>検討-砂漠地域における緑泥岩分布の把握を目的として  |
| 長谷川<br>1995年8月 | PNC TY7651 95-002 | Detection of permeable fractures in granitic rock by<br>hydrophon VSP case study for the granitic rock,<br>Gifu Prefecture, Japan |
| 落合<br>1995年10月 | PNC PN7520 95-001 | 東濃鉱山管理資料集   |
| 中野<br>1995年10月 | PNC TN7410 95-043 | 1,000m対応水理試験装置の開発   |
| 永崎<br>1995年10月 | PNC TN7410 95-047 | 平成6年度 安全研究成果(調査票)   |
| 竹内<br>1995年10月 | PNC TN7410 95-044 | 難透水性岩盤を対象とした現場透水試験に関する検討  |
| 田村<br>1995年12月 | PNC TN7410 95-059 | 1,000m対応水理試験装置の開発   |
| 豊嶋<br>1995年12月 | PNC TN7410 95-060 | 1,000m対応採水装置の開発   |
| 山岸<br>1995年12月 | PNC PN7600 95-005 | 海外出張報告—COMDEX FALL '95 と米国におけるVR開発状況調<br>査視察報告—   |
| 山岸<br>1996年2月  | PNC TN7410 96-020 | カナダ・アサバスカ地域におけるウラン探査技術の現状と課題  |
| 野崎<br>1996年3月  | PNC PN7420 96-003 | 試錐掘削技術に関する文献調査  |
| 浜<br>1996年3月   | PNC TN7410 96-001 | 1,000m対応採水装置の開発   |

山岸 PNC TN7410 96-002 航空機MSSデータを利用したスペクトル指標による岩相識別  
1996年3月  
竹内 PNC TN7410 96-003 1,000m対応水理試験装置の開発  
1996年3月  
花木 PNC TN7410 96-022 アクロスシステム開発研究の現状報告  
1996年3月

[委託研究資料]

| 担当者<br>発行年月     | 資料番号<br>委託先                      | 標 | 題                                |
|-----------------|----------------------------------|---|----------------------------------|
| 浜<br>1995年8月    | PNC ZJ7422 95-002<br>環境技術研究所     |   | 地球化学検層ユニットの適用試験                  |
| 永崎<br>1995年9月   | PNC TJ7552 95-004<br>資源素材学会      |   | ラドン阻止剤の研究                        |
| 藪内<br>1995年10月  | PNC ZJ7586 95-005<br>物理計則コンサルタント |   | 試錐孔用広帯域レーダープローブの適用試験             |
| 長谷川<br>1995年11月 | PNC TJ7640 95-001<br>千葉大学        |   | 小型油圧インパクトによる反射法地震探査              |
| 中野<br>1995年12月  | PNC ZJ7439 95-006<br>大成基礎設計      |   | 大深度対応地下水の長期モニタリング装置のインテグレーションの設計 |
| 永崎<br>1996年1月   | PNC TJ7409 96-001<br>ペスコ         |   | 西濃地域における地質と環境放射線の関連性評価           |
| 鶴留<br>1996年2月   | PNC ZJ7694 96-001<br>エヌ・エル・エス    |   | 試錐掘削技術に関わる動向調査                   |
| 浜<br>1996年3月    | PNC ZJ7411 96-001<br>基礎地盤コンサルタント |   | 細型複合ケーブルと小型巻き取り装置の設計             |
| 浜<br>1996年3月    | PNC ZJ7411 96-002<br>基礎地盤コンサルタント |   | 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器(高温環境型)の設計 |
| 浜<br>1996年3月    | PNC ZJ7422 96-001<br>環境技術研究所     |   | 地球化学検層ユニット(高温環境型)の設計             |
| 中野<br>1996年3月   | PNC ZJ7439 96-002<br>大成基礎設計      |   | 1,000m対応水理試験装置(高温環境型)の設計         |

## 外部発表一覧

平成7年度 技術開発課外部発表一覧

| 資料番号          | 著者名<br>標題  | 発表先                 | 発表年月     |
|---------------|--|---------------------|----------|
| TN7410 95-036 | ○山岸 明子<br>航空機 MSSデータを利用したスペクトル指標<br>による岩相マッピング手法の検討-砂漠地域<br>における緑泥石分布の把握を目的として-  | 第93回物理探査学会学術講演会     | 1995年10月 |
|               | ○香川 成行<br>私の『保安教育法』  | 保安通信                | 1995年7月  |
| PN7410 95-004 | ○藪内 聡,長谷川 健<br>比抵抗トモグラフィによる坑道周辺の比抵抗<br>分布の解析手法について   | 物理探査学会92回学術講演会      | 1995年7月  |
| TN7600 95-001 | ○山岸 明子<br>コンピュータ技術のウラン探査およびウラン<br>生産への応用-適用例および技術の応用   | 日本原子力学会誌            | 1995年9月  |
| TJ7552 95-004 | ○永崎 靖志,伊藤 和男,黒沢 龍平<br>ラドン阻止剤の研究  | 日本原子力学会 秋の大会        | 1995年10月 |
| TN7410 95-043 | ○中野勝志,田村雅彦,後藤和幸,平田洋一,西垣誠<br>1,000m対応水理試験装置の開発  | 日本地下水学会秋季講演会        | 1995年10月 |
| TN7410 95-044 | ○竹内竜史,中野勝志,尾方伸久,後藤和幸,西垣誠<br>難透水性岩盤を対象とした現場透水試験に関<br>する検討   | 日本地下水学会秋季講演会        | 1995年10月 |
| TY7651 95-002 | ○長谷川健,藪内聡,青木和弘,木口努,伊藤久男他<br>Detection of permeable fractures in granitic rock by<br>hydrophon VSP-case study for the granitic rock,<br>gifu prefecture,japan | 第3回SEGJ/SEG国際シンポジウム | 1995年11月 |
| TJ7640 95-001 | ○長谷川健,伊藤谷生,河村知徳,藪内聡<br>小型油圧インパクトによる反射法地震探査   | 構造地質研究会1995年度冬の例会   | 1995年12月 |
| TN7410 95-059 | ○田村 雅彦,中野 勝志<br>1,000m対応水理試験装置の開発  | 日本原子力学会中部支部研究       | 1995年12月 |
| TN7410 95-060 | ○豊嶋 賢治,浜 克宏,瀬尾 俊弘,中野 勝志<br>1,000m対応採水装置の開発   | 日本原子力学会中部支部研究       | 1995年12月 |

- |               |   |                                   |
|---------------|---|-----------------------------------|
| TN7410 96-020 | ○山岸 明子<br>カナダ・アサバスカ地域におけるウラン探査<br>技術の現状と課題    | 1996年2月<br>次世代資源探査御術開発に関する<br>検討会 |
| TN7410 96-002 | ○山岸 明子<br>航空機MSSデータを利用したスペクトル指標<br>による岩相識別    | 1996年3月<br>動燃技報                   |
| TN7410 96-022 | ○熊沢峰夫,山川稔,坪田浩二,長谷川健,花木達美<br>アクロスシステム開発研究の現状報告 | 1996年3月<br>地球惑星科学関連学会96合同大会       |
| TN7410 96-003 | ○竹内 竜二,中野 勝志,田村 雅彦<br>1,000m対応水理試験装置の開発       | 1996年3月<br>日本原子力学会96年春の大会         |
| TN7410 96-001 | ○浜 克宏,瀬尾 俊弘,豊嶋 賢治<br>1,000m対応採水装置の開発          | 1996年3月<br>日本原子力学会96年春の大会         |

## 特許等の公開状況



特許公開状況

|       |                   |               |                    |
|-------|-------------------|---------------|--------------------|
| 特実区分  | 実用新案              | PNC管理番号       | D 1 8 9 2          |
| 名 称   | パッカ式地下水採取装置       |               |                    |
| 発 明 者 | 柳澤 孝一, 森 博        |               |                    |
| 出 願 : | 実願平01-131451      | 1989. 11. 10. | 公 告 : 実公平06-017911 |
|       |                   |               | 1994. 05. 11       |
| 公 開 : | 実開平03-069090      | 1991. 07. 09  | 公 表 :              |
| 出願人 : | 動力炉・核燃料開発事業団      | 基礎地盤コンサルタンツ   |                    |
| 特実区分  | 特許                | PNC管理番号       | D 1 6 8 1          |
| 名 称   | 低水圧制御水理試験法        |               |                    |
| 発 明 者 | 柳澤 孝一, 平田 洋一      |               |                    |
| 出 願 : | 特願昭63-142399      | 1988. 06. 09  | 公 告 : 特公平06-047813 |
|       |                   |               | 1994. 06. 22       |
| 公 開 : | 特開平01-312115      | 1989. 12. 15  | 公 表 :              |
| 出願人 : | 動力炉・核燃料開発事業団      | 大成基礎設計        |                    |
| 特実区分  | 特許                | PNC管理番号       | D 2 2 2 8 S        |
| 名 称   | 酸化還元電位測定用参照電極     |               |                    |
| 発 明 者 | 瀬尾 俊弘, 濱 克宏, 島崎 智 |               |                    |
| 出 願 : | 特願平05-149377      | 1993. 06. 21  | 公 告 :              |
| 公 開 : | 特開平07-012776      | 1995. 01. 17  | 公 表 :              |
| 出願人 : | 動力炉・核燃料開発事業団      | 環境技術研究所       |                    |

特許公開状況

|                    |                           |              |                                 |
|--------------------|---------------------------|--------------|---------------------------------|
| 特実区分               | 特許                        | PNC管理番号      | D 1 6 4 6                       |
| 名 称                | 商用周波数信号を利用した地下探査法及び装置     |              |                                 |
| 発 明 者              | 坪田 浩二, 則竹 和光, 大屋 峻        |              |                                 |
| 出 願 :              | 特願昭63-094875              | 1988. 04. 18 | 公 告 : 特公平06-041983 1994. 06. 01 |
| 公 開 :              | 特開平01-265187              | 1989. 10. 23 | 公 表 :                           |
| 出願人 : 動力炉・核燃料開発事業団 |                           | 三井金属資源開発     |                                 |
| 特実区分               | 特許                        | PNC管理番号      | D 1 6 4 7                       |
| 名 称                | 地下比抵抗探査におけるデータ処理方法および装置   |              |                                 |
| 発 明 者              | 坪田 浩二, 則竹 和光, 志賀 信彦, 齊藤 章 |              |                                 |
| 出 願 :              | 特願昭63-094876              | 1988. 04. 15 | 公 告 : 特公平06-041985 1994. 06. 01 |
| 公 開 :              | 特開平01-265189              | 1989. 10. 23 | 公 表 :                           |
| 出願人 : 動力炉・核燃料開発事業団 |                           | 三井金属資源開発     |                                 |
| 特実区分               | 特許                        | PNC管理番号      |                                 |
| 名 称                | 水圧式パッカー及びその拡張収縮方法         |              |                                 |
| 発 明 者              | 柳澤 孝一, 中野 勝志              |              |                                 |
| 出 願 :              | 特願平05-040084              | 1993. 03. 01 | 公 告 :                           |
| 公 開 :              | 特開平07-091165              | 1995. 04. 04 | 公 表 :                           |
| 出願人 : 動力炉・核燃料開発事業団 |                           | 大成基礎設計       |                                 |

特許公開状況

|                    |                            |              |           |
|--------------------|----------------------------|--------------|-----------|
| 特実区分               | 特許                         | PNC管理番号      | D 2 0 0 9 |
| 名 称                | 室内透水試験装置                   |              |           |
| 発 明 者              | 中野 勝志, 齊藤 章                |              |           |
| 出 願 :              | 特願平02-323505               | 1990. 11. 27 | 公 告 :     |
| 公 開 :              | 特開平04-194640               | 1992. 07. 14 | 公 表 :     |
| 出願人 : 動力炉・核燃料開発事業団 |                            |              |           |
| 特実区分               | 特許                         | PNC管理番号      | D 2 1 6 7 |
| 名 称                | 空洞周辺岩盤の水理学的ゆるみ領域の測定方法及び測定  |              |           |
| 発 明 者              | 柳澤 孝一, 中野 勝志, 後藤 和幸, 平田 洋一 |              |           |
| 出 願 :              | 特願平04-247773               | 1992. 09. 17 | 公 告 :     |
| 公 開 :              | 特開平06-101395               | 1994. 04. 12 | 公 表 :     |
| 出願人 : 動力炉・核燃料開発事業団 |                            | 大成基礎設計       |           |
| 特実区分               | 特許                         | PNC管理番号      | D 2 1 9 4 |
| 名 称                | 地下水採水装置及びそれを用いた採水方法        |              |           |
| 発 明 者              | 後藤 和幸, 柳澤 孝一, 中野勝志         |              |           |
| 出 願 :              | 特願平04-359361               | 1992. 12. 25 | 公 告 :     |
| 公 開 :              | 特開平06-193101               | 1994. 07. 12 | 公 表 :     |
| 出願人 : 動力炉・核燃料開発事業団 |                            | 大成基礎設計       |           |

特許公開状況

|  |   |              |                                 |
|--|---|--------------|---------------------------------|
| 特実区分                                       | 特許  | PNC管理番号      | D 1 2 6 7                       |
| 名 称  | ウラン鉱床の埋蔵量決定方法                             |              |                                 |
| 発 明 者                                      | 柳澤 孝一                                     |              |                                 |
| 出 願 :                                      | 特願昭60-173698                              | 1985. 08. 07 | 公 告 : 特公平03-058674 1991. 09. 06 |
| 公 開 :                                      | 特開昭62-034091                              | 1987. 02. 14 | 公 表 :                           |
| 出願人 : 動力炉・核燃料開発事業団                         |   |              |                                 |
| 特実区分                                       | 特許  | PNC管理番号      | D 1 9 5 4                       |
| 名 称  | 地下水採水法                                    |              |                                 |
| 発 明 者                                      | 柳澤 孝一, 斎藤 章, 石井 卓, 清水 勇                   |              |                                 |
| 出 願 :                                      | 特願平02-127193                              | 1990. 05. 17 | 公 告 :                           |
| 公 開 :                                      | 特開平04-022839                              | 1992. 01. 27 | 公 表 :                           |
| 出願人 : 動力炉・核燃料開発事業団 清水建設(株)                 |   |              |                                 |
| 特実区分                                       | 特許 D09571H                                | PNC管理番号      | D 2 4 3 4                       |
| 名 称  | 前方と側方の同時観測型ボアホールテレビを備えた水理試験装置             |              |                                 |
| 発 明 者                                      | 中野 勝志, 柳澤 孝一, 平田 洋一, 後藤 和幸, 田村 雅彦, 亀和田 俊一 |              |                                 |
| 出 願 :                                      | 特願平07-173363                              | 1995. 07. 10 | 公 告 :                           |
| 公 開 :                                      |   |              | 公 表 :                           |
| 出願人 : 動力炉・核燃料開発事業団, 大成基礎設計株式会社, 株式会社 レアックス |   |              |                                 |

特許公開状況

|  |   |            |           |
|--|---|------------|-----------|
| 特実区分   | 特許 D09572H  | PNC管理番号    | D 2 4 3 3 |
| 名 称  | パッカー式地下水採水および採水方法                                   |            |           |
| 発 明 者  | 濱 克宏, 瀬尾 俊弘, 柳澤 孝一, 中野 勝志, 森 博, 中嶋 幸房, 酒井 幸雄, 豊嶋 賢治 |            |           |
| 出 願 :  | 特願平07-173364  | 1995.07.10 | 公 告 :     |
| 公 開 :  | 公 表 :   |            |           |
| 出願人: 動力炉・核燃料開発事業団 大石 博, 基礎地盤コンサルタンツ株式会社 森 研二 |   |            |           |
| 特実区分   | 特許 D095X1H  | PNC管理番号    |           |
| 名 称  | 水理試験法及び水理試験装置                                       |            |           |
| 発 明 者  | 中野 勝志, 竹内 竜史, 尾方 伸久, 後藤 和幸, 田村 雅彦                   |            |           |
| 出 願 :  | 特願平07-273831  | 1995.10.23 | 公 告 :     |
| 公 開 :  | 公 表 :   |            |           |
| 出願人: 動力炉・核燃料開発事業団 大石 博, 大成基礎設計株式会社 後藤 幸弘     |   |            |           |
| 特実区分   | 特許  | PNC管理番号    |           |
| 名 称  |   |            |           |
| 発 明 者  |   |            |           |
| 出 願 :  |   |            | 公 告 :     |
| 公 開 :  | 公 表 :   |            |           |
| 出願人:   |   |            |           |

## 2. 探鉱・採鉱関連技術開発成果

### (1) 探査技術開発

A-1 カナダ・アサバスカ地域における物理探査技術の高度化

A-2 3次元電磁法シミュレーションソフトの特性解析

A-3 岩石表面鉱物と反射スペクトルの関係について

A-4 オーストラリア・北部準州キンガバ地域のリモートTM画像の作成

### (2) 採鉱技術開発

A-5 東濃地域の地質と環境放射線の関連性に関する研究

A-6 放射線防護採鉱技術開発に関する研究

### (3) 分析技術開発

A-7 ICP-MS情報収集

A-8 有機物分析装置に関する情報収集

## A-1 カナダ・アサバスカ地域における物理探査技術の高度化

## 1. はじめに

本研究開発は、ウォーリープロジェクト、クリスティーレイクプロジェクト等の探査現場からデータを取得し、また、その解析結果を探査にフィードバックする形で、平成6年度に開始した。平成6年度は、初年度として、アサバスカ地域における物理探査の現状と課題を分析し、オフコンダクター鉱体の探査手法確立とコンダクターの精密推定を課題とすることとした。すなわち、

カナダ・アサバスカ地域では、1975年にキーレイク鉱床が発見され、当該地域の不整合関連型鉱床における、鉱体と石墨質層の密接な関係が初めて認識された<sup>1)</sup>。その後、これを地質・物性モデルとした探査が活発に展開され、シガーレイク、マッカサーリバーをはじめとする数多くの鉱床・鉱体が発見されてきた。ここで想定されたのは、垂直に近い石墨に富む層準と不整合の交会部付近に鉱体が胚胎されるというモデルである。

石墨質の層準は地球物理学的には板状のコンダクター（電気良導体）であり、その頂辺の上方に、各種の電磁探査法で線状の異常が検出される。この線状異常から推定されるコンダクター頂辺はコンダクター軸と呼ばれ、コンダクター軸近傍の不整合付近を試錐で評価するのが、この場合の探査の基本である。

一方、マククリーンレイクプロジェクト中最大の鉱体であるSue C 鉱体は、コンダクター軸から100 m 弱離れた位置（オフコンダクター）に発見された（この様な鉱体をオフコンダクター鉱体と呼ぶ）。また、マッカサーリバーでも、孔内試錐探鉱により、基盤内に新たに7万トンU規模の鉱体が発見された。この事実は、経済性のある鉱体が、これまでの探査手法で絞り込まれる範囲の外に存在する可能性を示唆している。

また、PNCのクリスティーレイクプロジェクトでは1989年にきわめて優勢な鉱化帯の発見後、引き続き物理探査、試錐探査が実施され、これまでに2つの高品位鉱体が確認されている。この探査の進展に伴い、その地質構造は当初考えられていたものとは比べずっと複雑であることが分かってきた。これは、今後同プロジェクトで、複雑な構造を考慮した解析が必要であることを意味するばかりでなく、これまで比較的単純な構造を仮定して探査されてきたアサバスカ地域全般について、複雑な構造を考慮した物理探査技術による見直しで、さらに多くの新たな発見がある可能性を示唆している。

このように、近年、その複雑さが顕在化しつつあるアサバスカ地域の探査対象への対応を目的として、物理探査技術の高度化を図る事とした。

## 2. 経緯と平成7年度作業概要

昨年度設定した課題解決のための手法としては、オフコンダクター鉱体の探査手法として矩形電極配置直流比抵抗マッピング（以下DC-R）を、基盤内の石墨質コンダクターの精密探査手法として電磁探査法の測定手法の高度化をとりあげた。まず、DC-Rについ



て、シミュレーションによりその特性を明らかにし、本手法に適したデータ処理手法を提案した。また、測定手法の高度化について、平成6年度冬期にキャンドルレイクプロジェクトおよびラッセルレイクプロジェクトで実施した探査において、通常測定される磁場（の変化）の垂直と測線方向水平成分に加えて、測線と直行する水平成分を測定する3成分測定を実施した。

平成7年度は、DC-Rについて、新たに提案したデータ処理結果に基づきウォーリープロジェクトでオペレーターであるコジエマに試錐位置を推薦し、当該グリッドの試錐の中で、最も良い結果を得た。電磁探査法については、3成分測定を引き続き実施し、測点ごとに水平2成分から得られるコンダクターの走向と、比較的密な複数の測線から得られるコンダクターの走向が定性的に一致することを確認した。また、概査段階に於ける探査の効率化を目的として、ステップワイズ移動ループと呼ばれる測定手法をクリステーレイクの平成7年度冬期探査において実施し、このデータを有効に利用するデータ処理手法の検討を開始した。

### 3. 矩形電極配置直流比抵抗マッピング

平成7年度のウォーリープロジェクトのレインボーセントラルグリッド（図1）冬期試錐探査について、当地区で1994年秋に実施したDC-R探査結果に基づき試錐位置をコジエマに推薦し、当地区で今年度実施した6孔中最も有望な結果を得た。すなわち、強い変質、構造を捉え、またウラン異常が認められ、今後周辺の探査が必要と判断された。図2に当地区のコジエマ及び、動燃によるDC-Rのデータ処理結果を示す。当該試錐位置についてコジエマの処理結果では他に比べて顕著な異常は認められない。これは、浅部の異常を抽出する過程に問題があり、深部の比抵抗が高い部分（例えば図の右下および右上）では浅部の異常が強調され、逆に深部の比抵抗が低い部分では異常が過小評価されてしまうためであることが、昨年度実施したシミュレーションの結果から推定されている。動燃の処理では、生の比抵抗データを対数変換した上で、浅部異常抽出のための長波長除去フィルターを適用し、この問題を避けている。

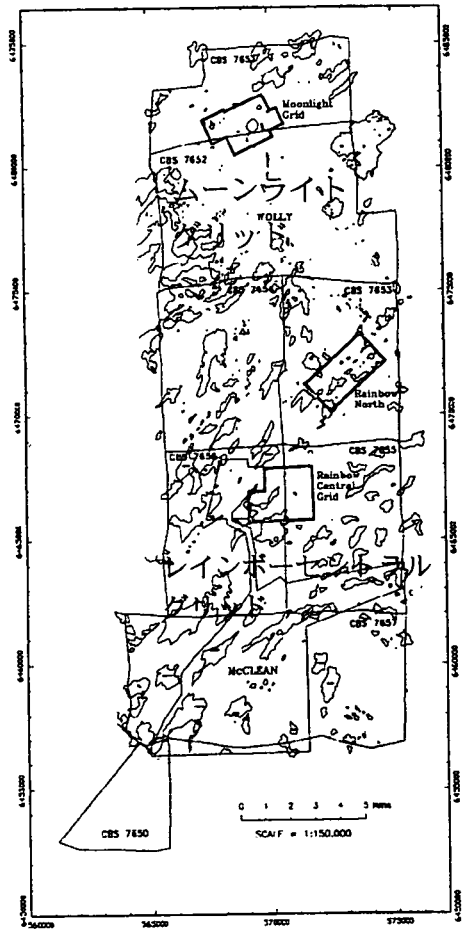


図1 ウォーリープロジェクト  
グリッド位置図

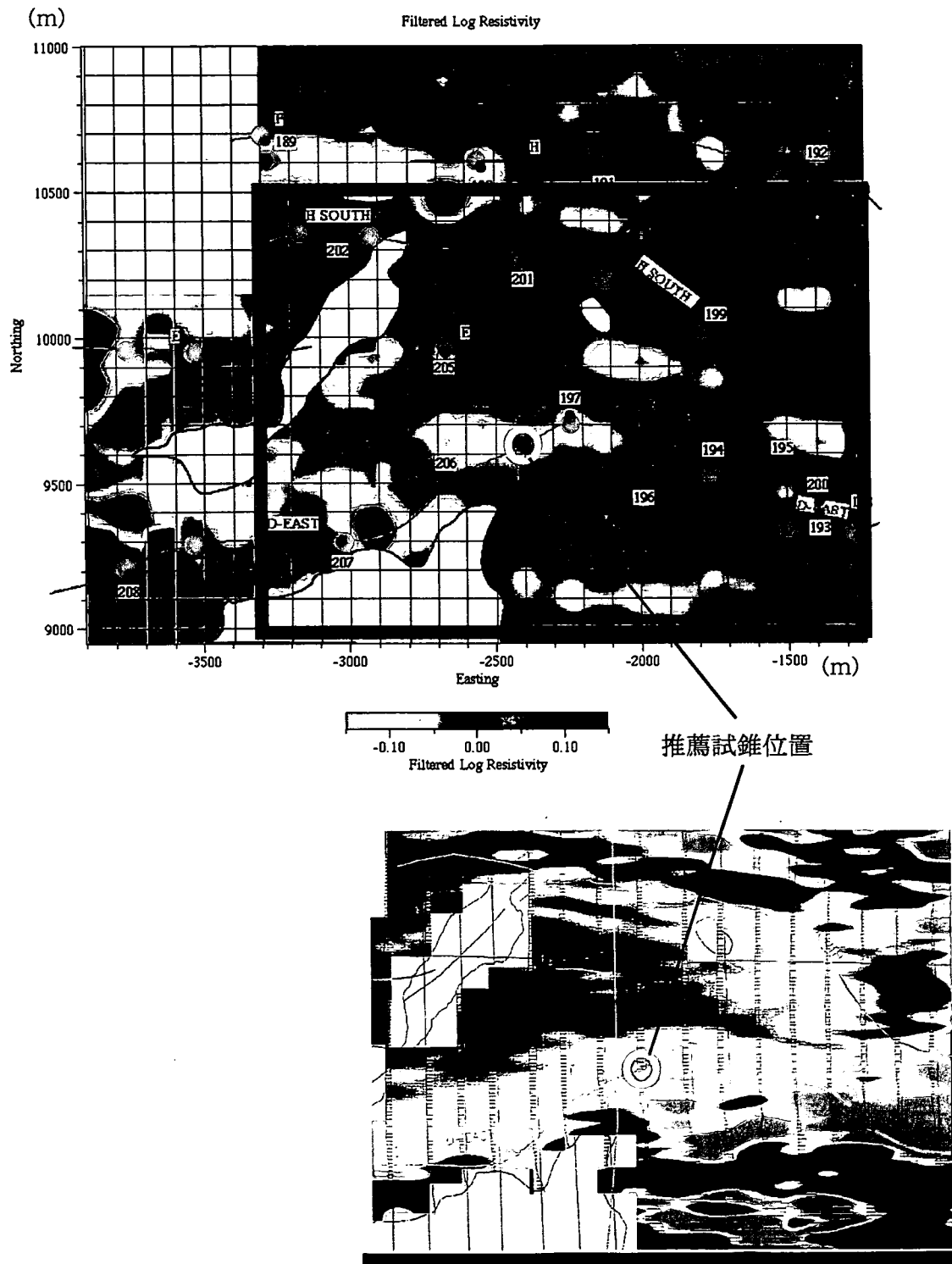


図2 ウォーリプロジェクトレインボーセントラルグリッドDC-R 処理結果比較  
 上が動燃、下がコジェマによるもの。上図の黒枠の範囲が下図に対応する。どちらも  
 暖色系が低比抵抗を表す。図中の細線はHLEMにより推定されたコンダクター軸、  
 赤丸及び緑マルは過去の試錐位置。

#### 4. 電磁探査における3成分測定

Macnae (1984) は電磁探査の多成分測定について、垂直成分は水平成分に比べて環境雑音の影響が少ない事、また、垂直成分が（観測値の空間周波数に対して）十分な密度で測定されていれば、水平2成分はヒルバート変換により垂直成分から算出できる事から、多成分の測定に時間をかけるより、垂直成分を高密度で測定する方が有効であると結論した。しかしながら、近年、エレクトロニクスの高度化により、多成分を同時に測定できる装置（例えば、Geonics Digital ProteM）が商用化され、事情は変わってきた。すなわち、単成分の測定と同じ時間で3成分の測定が可能となったことにより、比較的荒い密度（測線間隔）の3成分測定で、高密度の垂直成分測定と同様のデータを、安価に取得できる可能性が出てきた訳

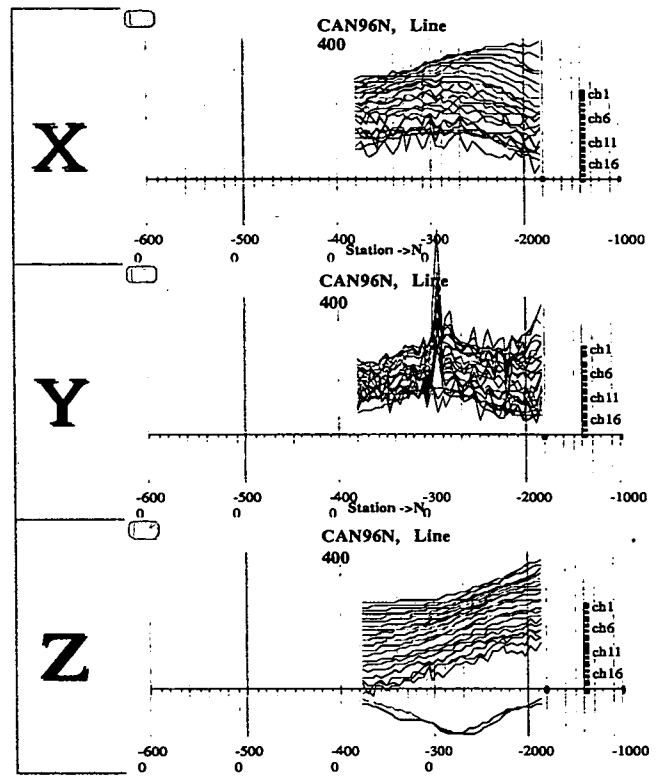


図3 電磁探査3成分測定結果例

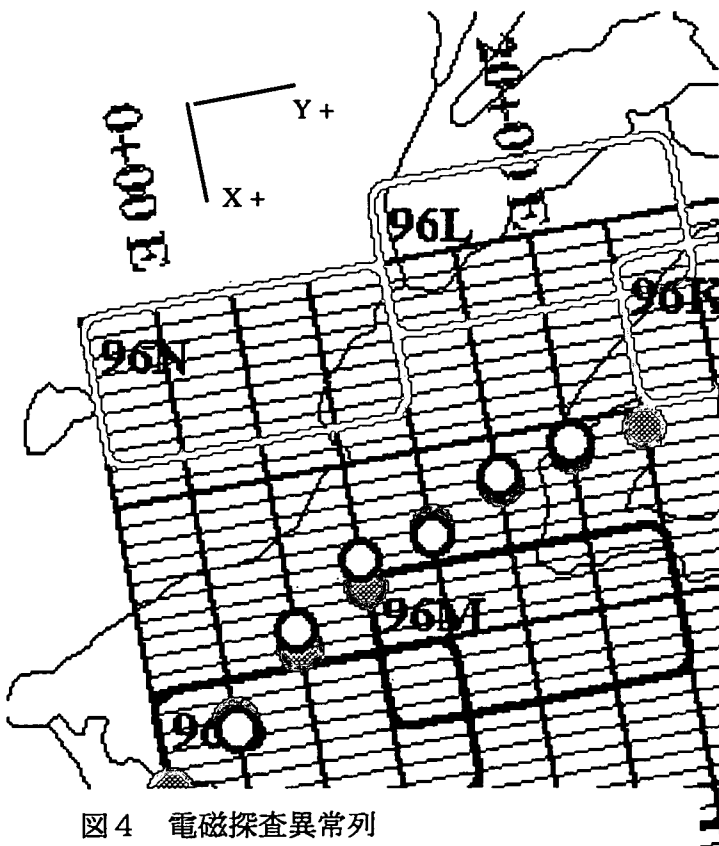


図4 電磁探査異常列

赤丸が赤線で示したループを使った測定による異常のピーク位置

である。これは、特に地上物理探査の初期段階で有効であるばかりでなく、探査密度が高いより進んだ段階においても、単成分からのヒルバート変換値と実測値の両者を比較することにより、構造推定の確実性を評価することが出来る事を意味する。実は、これまでも、単成分の測定をすることはまず無く、通常、垂直成分と測線方向の水平成分を測定し、垂直成分に微分変換して水平成分化し、実測の水平成分と比較しつつ解析を行うのがアサバスカ地域では一般的であった。構造の走向が、測線に直交する2次元構造の場合、これは、上に述べた3成分測定とヒルバート変換に相当する。地上物理探査の初期段階において

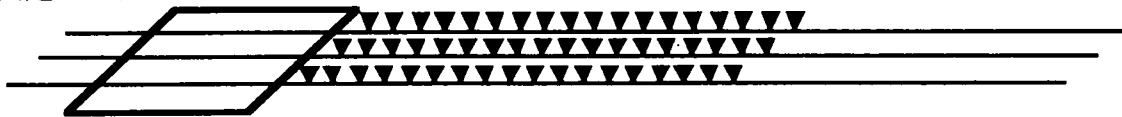
は、構造の走向は不明なことが普通であり、また、理想的な2次元構造は希であるため、これらに対処するために、3成分の測定は有効である。

昨年度に引き続き、今年度もアサバスカ地域において、3成分測定を行い。測点ごとに水平2成分から得られるコンダクターの走向と、比較的密な複数の測線から得られるコンダクターの走向が定性的に一致することを確認した。この例を図3と図4で示す。図3は今年度キャンドルレイクプロジェクトで実施した時間領域電磁探査(Protem-37)の結果の一部で、図4に示したループ96Nを使ってLine 4+00E(ループの中央を通るライン)上で測定した観測値のプロファイルである。測線方向の水平成分(X)とこれに直交する水平成分(Y)の極正の関係は図4の上部に示した様に定義した。図3でX成分とY成分のピークはともに正であるからその合成成分は図で右下向きとなり、これから推定されるコンダクター軸の方向は図の右上から左下となる。これは図4に示した複数の測線で観測された異常列から推定されるコンダクター軸の方向と一致する。

#### 5. 電磁探査におけるステップワイズ移動ループ測定

電磁探査では、これまで、固定ループ法および移動ループ法が主に使われてきた。(図5)固定ループ法では、平面的に高密度な探査を効率よく実施することが可能な反面、ループ位置の適切な設定のためには、コンダクターの位置および傾斜がある程度分かっているなければならない事、また、大地に流れる渦電流の影響で結果の解釈が難しくなる事が問題点である。一方、移動ループ法はコンダクターの深度さえある程度予想がつけば、探査計画は容易で、また、結果の解釈も容易である。問題は、基本的に測点ごとにループを移動させるために探査能率が悪いことが上げられる。ステップワイズ移動ループ法(図5)では、移動ループ法に近いデータを幅広い深度範囲にわたって、固定ループ法に近い探査能率で取得できる可能性があり、地上物理探査の初期段階で有効であると考えられる。この手法について、今年度クリスティーレイクで試験的に探査を実施し、データをより有効に活用するデータ処理手法の検討を開始した。検討の手法としては、シミュレーションプログラムにより模擬探査データを作成し、これにデータ処理を施したものと、モデルを比較して、データ処理手法の特性を把握するという方法を取る。

固定ループ



移動ループ



ステップワイズ移動ループ



図5 電磁探査測定手法比較

三角の点はそれと同色のループを使った測定(受信)点を表す

## 6. 今後の方針

DC-Rについては平成8年度夏期にウォーリープロジェクトおよび北西準州のシッソングプロジェクトで本手法による探査を継続し、試錐結果との比較により、その有効性を検討する。また、ウォーリープロジェクトでは、これと合わせて、多周波数HLEMの送受信間隔を短くとり浅部垂直探査仕様として、DC-Rと比較を行う。HLEMは簡便安価で、これにより、DC-Rと整合的な結果が得られれば、オフコンダクター探査のための選択肢が大きく広がる。

電磁探査の3成分測定については、大地に流れる渦電流の影響を考慮した定量的な解析手法を検討する。

ステップワイズムービングループ探査については、現状でも、通常の固定ループ探査あるいは移動ループ探査と同様の手法で解析可能であるが、この手法の特性を生かして、深度方向の比抵抗分布変化を抽出する手法を検討する。これにより、砂岩中の変質帯あるいは構造による低比抵抗帯と基盤中の石墨質層の抽出を同時に行なえる可能性がある。

## 7. 参考文献

1) McMullan, S.R., Matthews, R.B., and Robertshaw, P., (1989): Exploration Geophysics for Athabasca Uranium Deposits, Proceedings of Exploration '87: Third Decennial International Conference on Geophysical and Geochemical Exploration for Minerals and Groundwater, Ontario Geological Survey, Special Volume 3

2) Macnae, J.C., (1984): Survey design for multicomponent electromagnetic systems: Geophysics, v. 49, p.265-272

## A-2 3次元電磁法シミュレーションソフトの特性解析

担当： 奥住， 茂田， 山岸

## 1. はじめに

人工送信源を使う電磁法は、ウラン、金属、地熱、石油等の資源探査に、あるいは道路、トンネル、ダム等の土木・建築・防災・環境といった分野の調査に使用され多くの成功を収めている。例えば、カナダ・アサバスカ盆地ではウラン鉱床と密接に関連する板状の石墨質岩層を検出することによって多くのウラン鉱床を発見した。これらウラン鉱床の地質・物性モデルは、高比抵抗の母岩中に存在する垂直板状の低比抵抗体（石墨質岩層）を捉えるといった電磁法の利点を生かせる比較的単純なモデルであった。しかし、近年電磁法に課せられる地質・物性モデルは、複雑に、また対象深度も深くなりつつある。

電磁法のハードウェアは、最近のエレクトロニクスやコンピュータ関連技術の進歩に伴って飛躍的に発展した。このため取得データは、16ビットA/D変換器の普及、メモリー容量の増加、アナログ増幅器の低ノイズ化、小型化および小電力化等により、桁違いに情報量が多くかつ高品質なものとなった。

一方、ソフトウェアである解析技術は、その土台である差分法、有限要素法、積分方程式法等の数値解析法、あるいはトモグラフィの発達によるインバージョン理論といった基礎理論はかなり充実しているが、実際の電磁法の解析は、アノーマリーマッピング、1次元逆解析が主流であり、情報量が多くかつ高品質な取得データを検討するためのあるいはまた複雑な地質・物性モデルを議論するための実用的な高度解析技術はまだない。

技術開発課では、上記理由により、高度解析技術に不可欠な3次元電磁法シミュレーションソフトを数種開発・導入してきた。これらのシミュレーションソフトは運用前段階として、開発・導入時に、各シミュレーションソフトごとにモデルを設定し特性を調べている<sup>1) 2) 3)</sup>。これらの特性解析では、異なったシミュレーションソフトで、同一モデル（あるいは近似モデル）による計算結果を相互に比較検討していない。本年度は4種類のシミュレーションソフトを相互に比較検討し、精度、適用限界等の特性を調べている。ここにその概要を報告する。

## 2. 目的

4種類の3次元電磁法シミュレーションソフトについて、同一あるいは近似モデルによる計算結果を相互に比較検討することによって、精度、適用限界等の特性を把握する。

## 3. 方法

### 3.1 解析対象ソフト

特性解析の対象としたシミュレーションソフトの一覧を表1にまとめる。

### 3.2 モデル

各シミュレーションソフトに入力するモデルは、測定点、送受信器配置等の測定条件に関するものと、3次元異常体を含めた比抵抗構造に関するものとに分類できる。以下では、前者を測定モデル、後者を大地モデルと定義する。また、測定モデルと大地モデルに共通の座標系は、3次元異常体の中央を通る鉛直軸をz軸、測線方向とx軸方向が一致するような直角右手座標系とし、原点はz軸と地表面の交点、鉛直上方をz軸の正方向とする。各モデルのパラメータを表2にまとめる。

### 3.2.1 測定モデル

測定モデルは、Dighem社周波数領域空中電磁法等で使われる送信器先行のコプラナー配置とする。送信器、受信器とも鉛直磁気双極子とし、それらの高度(z)はともに30m、送受信器間隔8mとする。測定点位置は、送受信器の中央とし、水平構造モデル(次項参照)以外では測定点間隔5m、測定点数17点とする。測線位置はx=-75mからx=5mとした。また測定周波数fは、1(=2<sup>0</sup>), 2(=2<sup>1</sup>), 4(=2<sup>2</sup>), 8(=2<sup>3</sup>), . . . . ., 16384(=2<sup>14</sup>), 32768(=2<sup>15</sup>) Hzとした。

### 3.2.2 大地モデル

大地モデルは、3次元異常体の無い半無限媒質構造、真空全無限媒質中に球と立方体の3次元異常体がある場合の3つに分類される。それぞれ順に水平構造モデル、球モデルおよび立方体モデルと定義し、以下にまとめる。

#### (1)水平構造モデル

EMSPHEREとAMIRA CUBICは3次元異常体からの応答だけを、またEMIGMA SPHEREは全無限媒質しか取り扱えない。従って、解析の対象としたシミュレーションソフトはEMIGMA CUBICである。半無限媒質の比抵抗値 $\rho_h$ と3次元異常体の比抵抗値 $\rho_p$ はすべて同じ比抵抗値とし、半無限媒質の上部(地表面=x y平面の上部)は真空とし、その比抵抗値は10<sup>20</sup>Ω・mをもって水平構造モデルとした。パラメータ $\rho_h(=\rho_p)$ は1(=2<sup>0</sup>), 2(=2<sup>1</sup>), 4(=2<sup>2</sup>), 8(=2<sup>3</sup>), . . . . ., 16384(=2<sup>14</sup>), 32768(=2<sup>15</sup>)Ω・mと変化させた。

#### (2)球モデル

解析の対象としたシミュレーションソフトはEMSPHEREおよびEMIGMA SPHEREである。EMIGMA SPHEREの真空全無限媒質の比抵抗値 $\rho_h$ は10<sup>20</sup>Ω・mとした。3次元異常体は半径50m、中心座標が(0, 0, -50)の球で、地表面(x y平面)に接している。3次元異常体(球)の比抵抗値 $\rho_p$ は1(=2<sup>0</sup>), 2(=2<sup>1</sup>), 4(=2<sup>2</sup>), 8(=2<sup>3</sup>), . . . . ., 16384(=2<sup>14</sup>), 32768(=2<sup>15</sup>)Ω・mと変化させた。

#### (3)立方体モデル

解析の対象としたシミュレーションソフトはEMIGMA CUBICおよびAMIRA CUBICである。真空全無限媒質の比抵抗値 $\rho_h$ は10<sup>20</sup>Ω・mとした。3次元異常体は、球モデルの体積および中心座標を一致させるため、一辺80.6mの立方体とした(立方体と球の体積差は0.0015%以内)。3次元異常体(立方体)の比抵抗値 $\rho_p$ は1(=2<sup>0</sup>), 2(=2<sup>1</sup>), 4(=2<sup>2</sup>), 8(=2<sup>3</sup>), . . . . ., 16384(=2<sup>14</sup>), 32768(=2<sup>15</sup>)Ω・mと変化させた。

### 3.3 検討方法

検討方法を以下にまとめる。



- (1)EMIGMA CUBICにおける水平構造モデルの計算結果と理論解と比較する。
- (2)EMSPHEREおよびEMIGMA SPHERE の球モデルの計算結果を比較し、シミュレーションソフトの違いによって、解析解にどの程度の応答差が生じるかを調べる。
- (3)EMIGMA CUBICと AMIRA CUBICにおける立方体モデルの計算結果を比較する。
- (4)球モデルと立方体モデルの計算結果を比較し、モデルの形状差によってどの程度の応答差が生じるかを調べる。

## 4. 結果

### 4.1 水平構造モデルにおける理論解との比較

図1にEMIGMA CUBICにおける水平構造モデルの計算結果と理論解との比較結果を、同相成分（上図）、離相成分（下図）に分けてまとめる。横軸は半無限媒質の比抵抗値、縦軸は各応答値を一次磁場に対する応答値で規格化(ppm表示)したものになっている。また、測定周波数は、間引いてある。以下に知見をまとめる。

- (1)EMIGMA CUBICの計算結果と理論解は、応答値が小さい部分で若干の差異があるが、全周波数、全比抵抗値でほとんど一致している。
- (2)同相成分は、半無限媒質比抵抗値が $1 \Omega \cdot m$ 以上で、周波数が高い程応答値は大きい。
- (3)離相成分は、半無限媒質比抵抗値が $32 \Omega \cdot m$ 以上で、周波数が高い程応答値は大きい。

### 4.2 球構造モデル

図2にEMSPHEREおよびEMIGMA SPHERE における球モデルの計算結果を同相成分（上図）、離相成分（下図）に分けてまとめる。球の比抵抗値は、応答値が最も大きい $1 \Omega \cdot m$ とした。横軸は測線を、縦軸は各応答値を一次磁場に対する応答値で規格化(ppm表示)したものになっている。また、測定周波数は、間引いてある。以下に知見をまとめる。

- (1)同相、離相成分ともEMSPHEREの応答値のほうが全測線でほぼ20%小さい。これは、全周波数、全比抵抗値（球）についても同様である。
- (2)EMIGMA SPHERE の同相成分は、プロファイル波形が階段状に乱れる。これは、EMIGMA SPHEREの出力時の有効桁数が足りないためである。
- (3)EMIGMA SPHERE の離相成分には、階段状のプロファイル波形の乱れはない。これは、離相成分に、一次磁場がないためと推定される。
- (4)EMSPHEREおよびEMIGMA SPHERE の同相、離相成分とも、球構造の中央真上でピークとなる。これは、全周波数、全比抵抗値（球）についても同様である。

### 4.3 立方体構造モデル

図3にEMIGMA CUBICと AMIRA CUBICにおける立方体モデルの計算結果例を同相成分（上図）、離相成分（下図）に分けてまとめる。立方体の比抵抗値は、応答値が最も大きい $1 \Omega \cdot m$ とした。横軸は測、縦軸は各応答値を一次磁場に対する応答値で規格化 (ppm 表示) したものになっている。また、測定周波数は、512Hz とした。以下に知見をまとめる。

- (1)EMIGMA CUBICの応答値の絶対値は、同相、離相成分とも AMIRA CUBICに比しほとんどない（1%以下）。これは、全周波数、全比抵抗値（球）についても同様である。
- (2)AMIRA CUBIC の応答値の絶対値は、同相、離相成分とも全測線で周波数が高いほど大きい。

(3)AMIRA CUBIC の応答値は立方体構造の中央真上付近でピークとなる。

(4)AMIRA CUBIC の同相成分は、-30m付近で変極点となる。

#### 4. 球および立方体構造モデルの比較

図4にEMSPHEREとAMIRA CUBICにおける球および立方体モデルの計算結果例を同相成分(上図)、離相成分(下図)にわけてまとめる。EMIGMA CUBICによる立方体モデルの応答はAMIRA CUBICに比し、全周波数、全比抵抗値でほとんど0であるためここでは省略した。また、AMIRA CUBICの応答も、球および立方体の比抵抗値が低いところでは、EMSPHEREに比し極端に小さくなるため、 $2048\Omega \cdot m$ とした。横軸は測線、縦軸は各応答値を真空中での応答値で規格化(ppm表示)したものになっている。また、測定周波数は、間引いてある。以下に知見をまとめる。

(1)AMIRA CUBIC (立方体モデル)の応答値の絶対値は、同相、離相成分ともEMSPHERE(球モデル)の応答値の10%程度しかない。

(2)AMIRA CUBIC およびEMSPHEREの応答値は立方体あるいは球構造の中央真上付近でピークとなる。

#### 5. 今後の課題

4種類の3次元電磁法シミュレーションソフトについて、水平構造モデル、球モデルおよび立方体モデルの計算結果の比較検討が終了した。立方体モデルの応答は球モデルの応答に比し、極端に低いことがわかった。これは、媒質(真空)と異常体の比抵抗コントラストが大きすぎるためとおもわれる。今後は、立方体モデルの適用可能な比抵抗コントラストの範囲を以下の通りにして調べていく。

(1)水平構造モデルは、実際には半無限媒質モデルであり、これだけでは不十分である。層数をさらに1層増やし理論解と比較検討する。

(2)球モデルおよび立方体モデルの全無限媒質の比抵抗値は真空( $10^{20}\Omega \cdot m$ )である。この比抵抗値を変化させて比較検討する。

(3)半無限媒質における球、立方体モデルについて比較する。

(4)複数のプレートモデルを組み合わせ、球、立方体モデルを近似し比較検討する。

(5)今後パラメータの数が増大し、入出力データがかなり多くなっており、また各シミュレーションソフトによって出力形式が違っている。比較検討しやすいデータベースを作成する。

#### 6. 参考文献

1) 狩野嘉昭, 長谷川健, (1994) : 透磁率を考慮した球構造の電磁応答について (PNC PN7410-008)

2) 奥住宏一, 狩野嘉昭, (1995) : 電磁法三次元モデリングソフトの開発, 平成6年度技術開発課年報 (PNC PN7440 95-004), p. 78-88

3) 狩野嘉昭, (1994) : 電磁法三次元モデリングソフトの開発, 技術開発課内部資料

表1 特性解析の対象とした3次元電磁法シミュレーションソフト一覧

| 分類            | モデル   |       | 備考            |
|---------------|-------|-------|---------------|
|               | 媒質    | 異常体形状 |               |
| EMSPHERE      | 真空全無限 | 球     | 解析解、モデルに制限があり |
| EMIGMA SPHERE | 全無限   | 球     | 解析解           |
| EMIGMA CUBIC  | 水平構造  | 立方体   | 積分方程式法による数値解  |
| AMIRA CUBIC   | 水平構造  | 立方体   | 有限要素法による数値解   |

表2 特性解析に使用したモデルとパラメータ

| モデル  | ソフト                                    | 周波数<br>f (Hz) | 媒質比抵抗      | 異常体比抵抗     | 備考  |
|------|--|---------------|------------|------------|---|
| 水平構造 | 解析対象ソフト<br>EMIGMA CUBIC                | 1~32768       | 1~32768, ∞ | 1~32768, ∞ | 媒質と異常体はすべて同じ比抵抗とした。<br>(すべて $\rho_n = \rho_r$ ) |
|      | 比較・参考データ<br>解析解                        | 1~32768       | 1~32768, ∞ | 1~32768, ∞ |   |
| 球    | 解析対象ソフト<br>EMSPHERE & EMIGMA SPHERE    | 1~32768       | ∞          | 1~32768, ∞ |   |
| 立方体  | 解析対象ソフト<br>EMIGMA CUBIC<br>AMIRA CUBIC |               |            |            | 球と立方体の体積および中心位置は同じ                              |
|      | 比較・参考データ<br>EMSPHERE                   | 1~32768       | ∞          | 1~32768, ∞ |   |

注) 測定はDighem周波数領域空中電磁法のコプラナー配置とした。レシーバーとトランスミッタの間隔は8m、高度は30mとした。

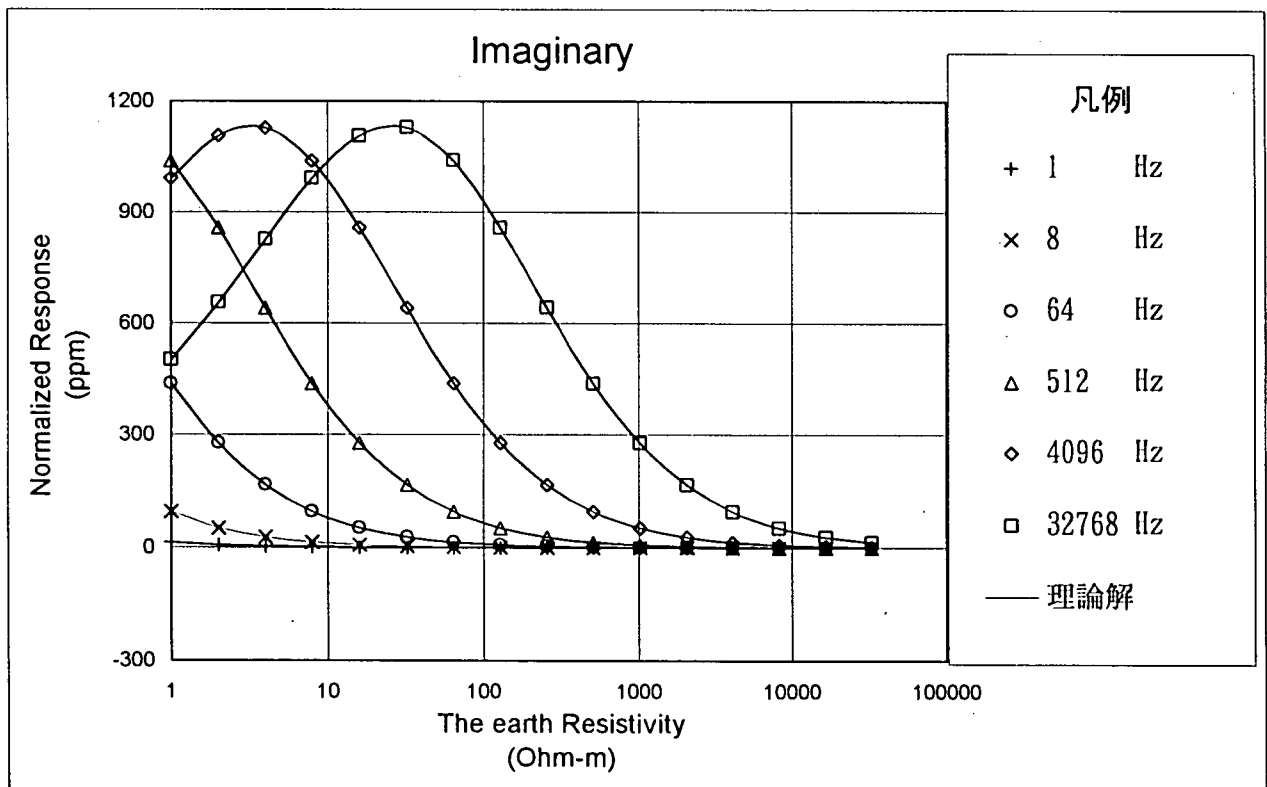
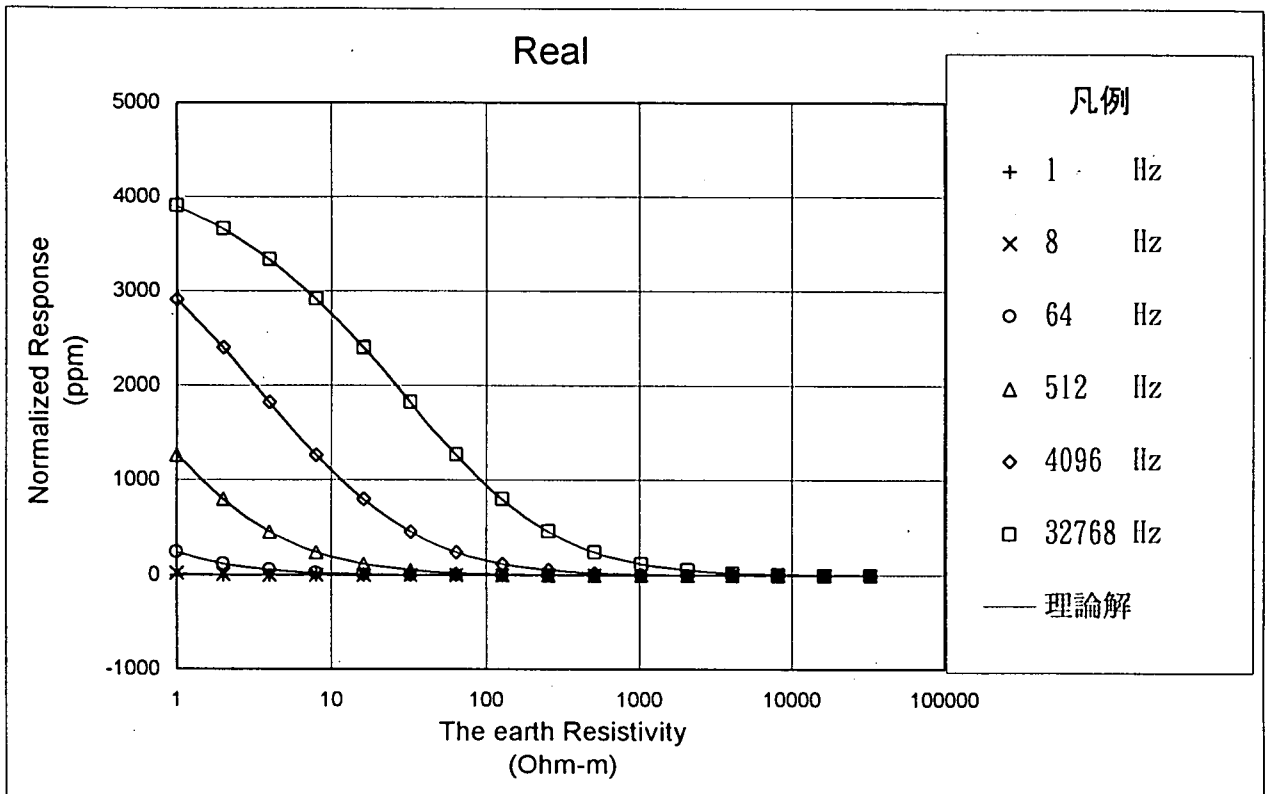


図1 EMIGMA CUBICによる水平構造モデル応答と理論解の比較

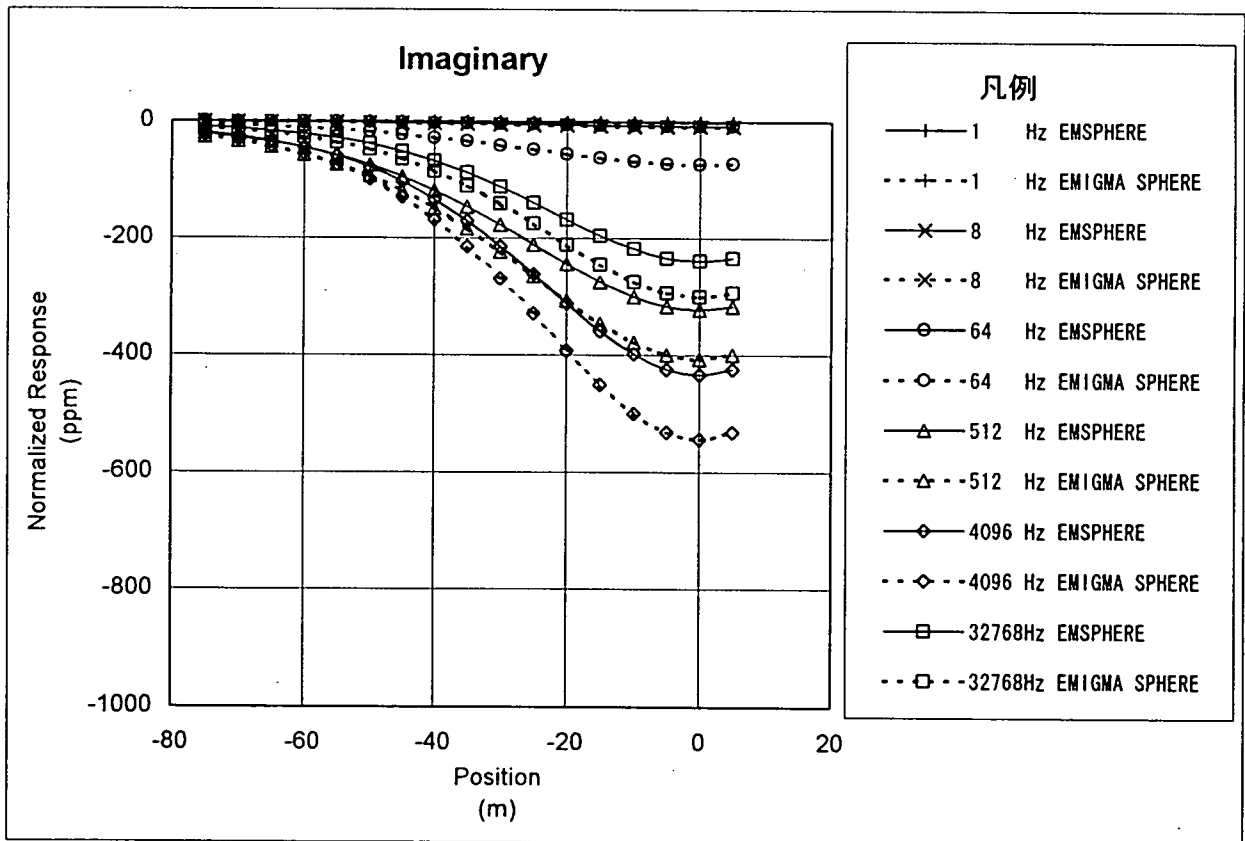
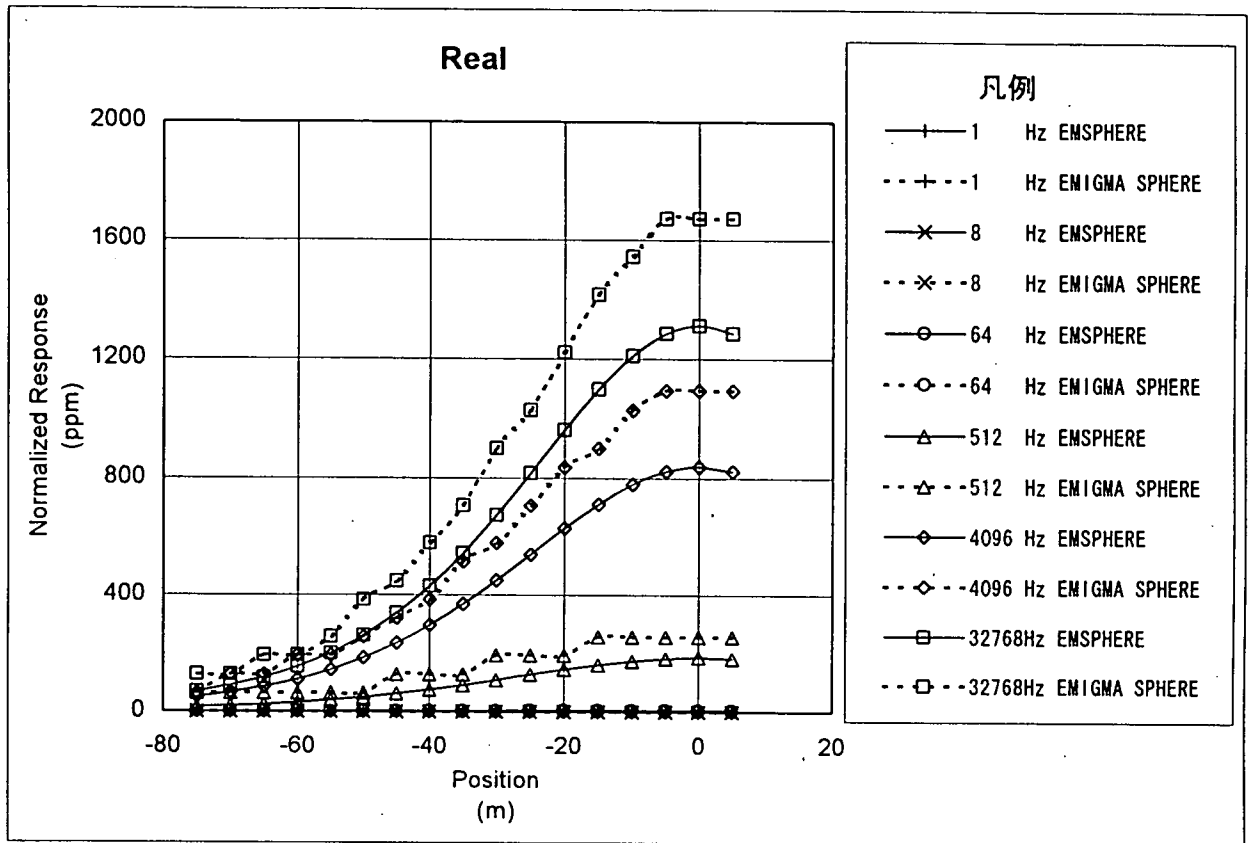


図2 EMSPHEREおよびEMIGMA SPHEREによる球構造モデル応答の比較

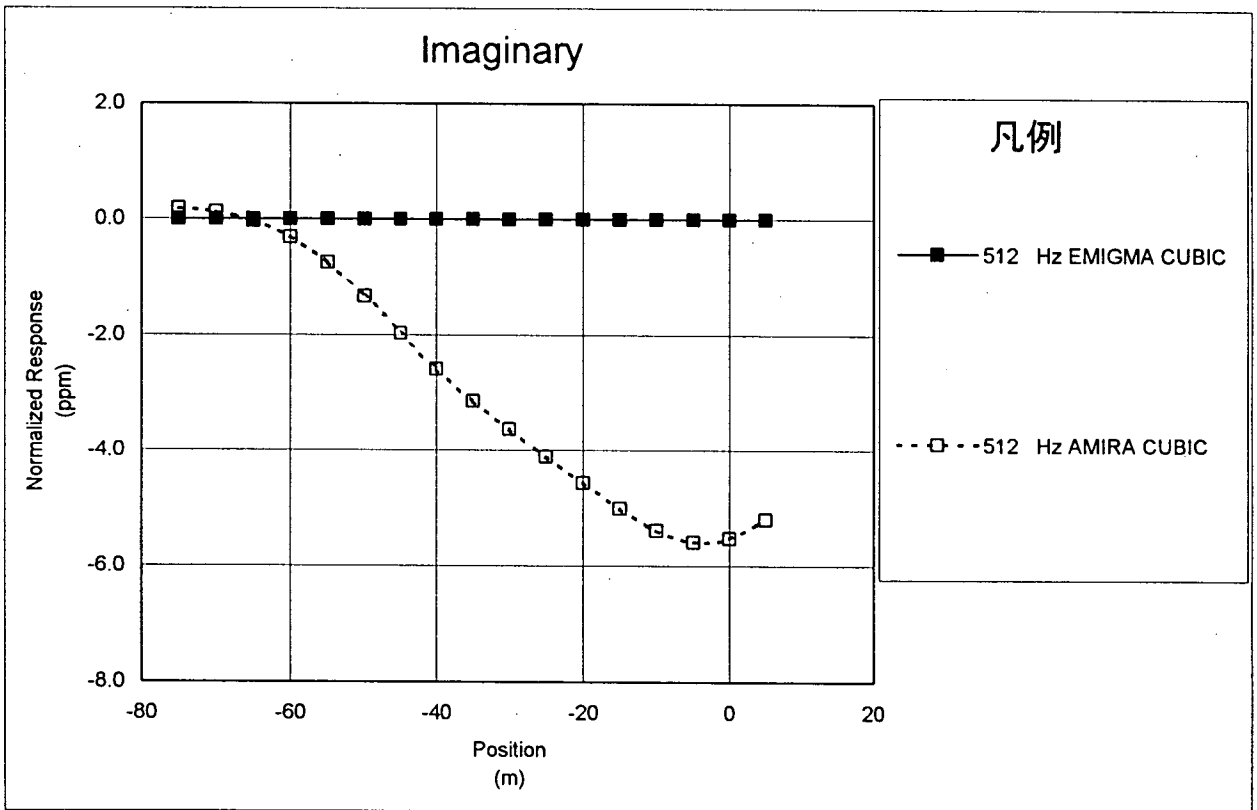
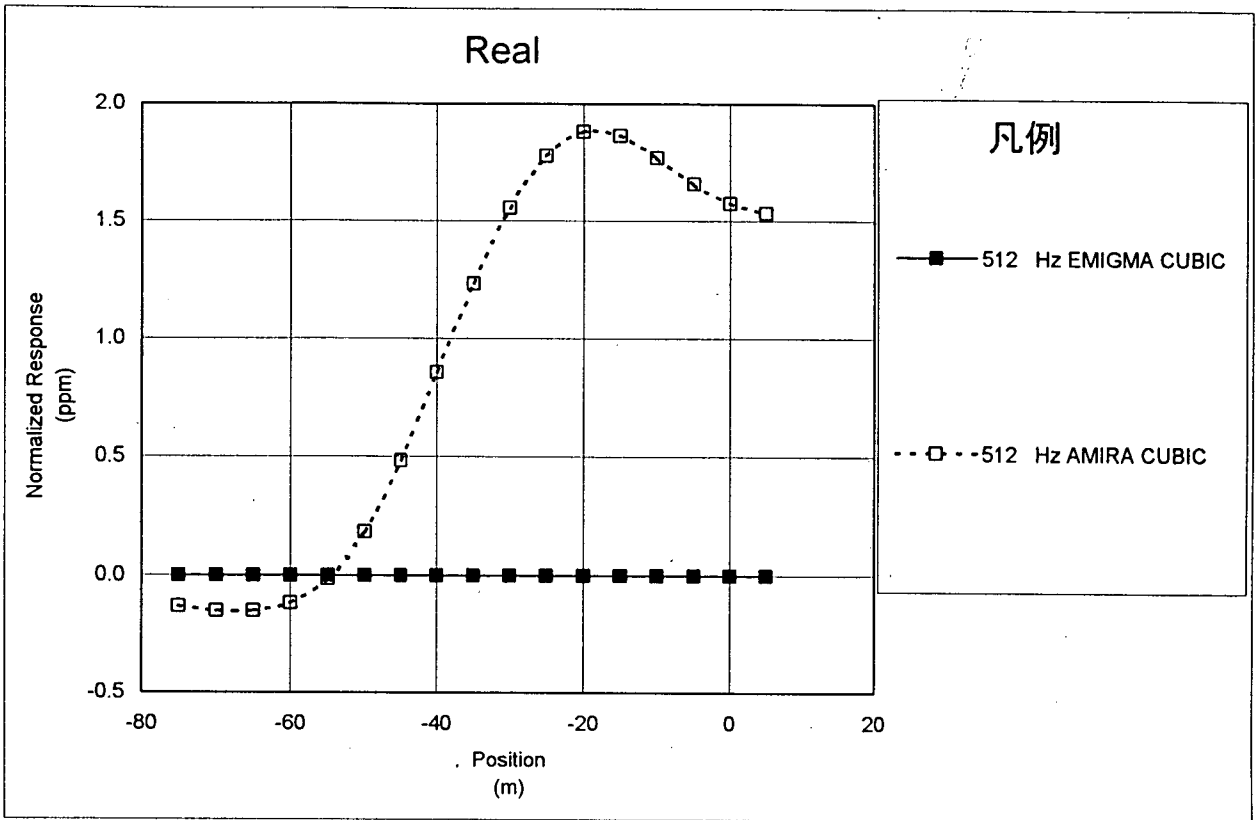


図3 EMIGMA CUBIC とAMIRA CUBICによる立方体モデル応答の比較

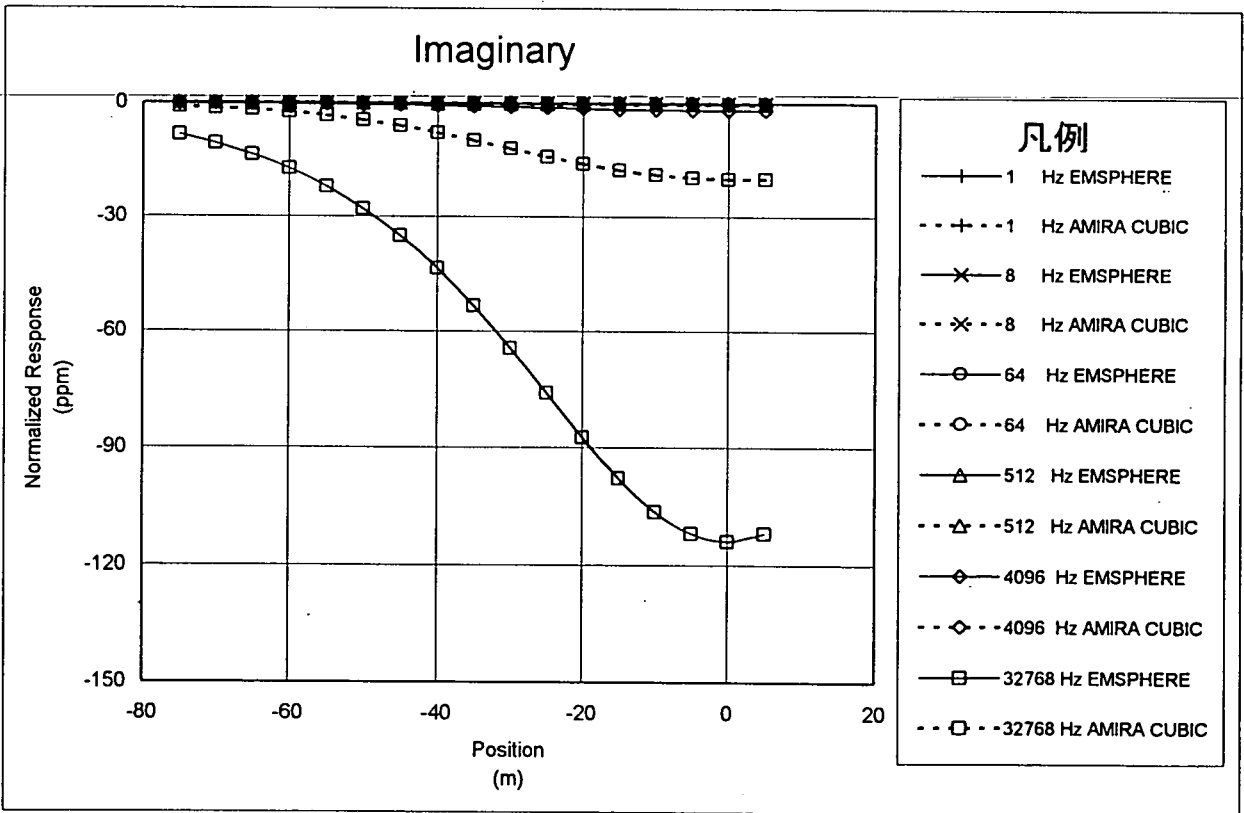
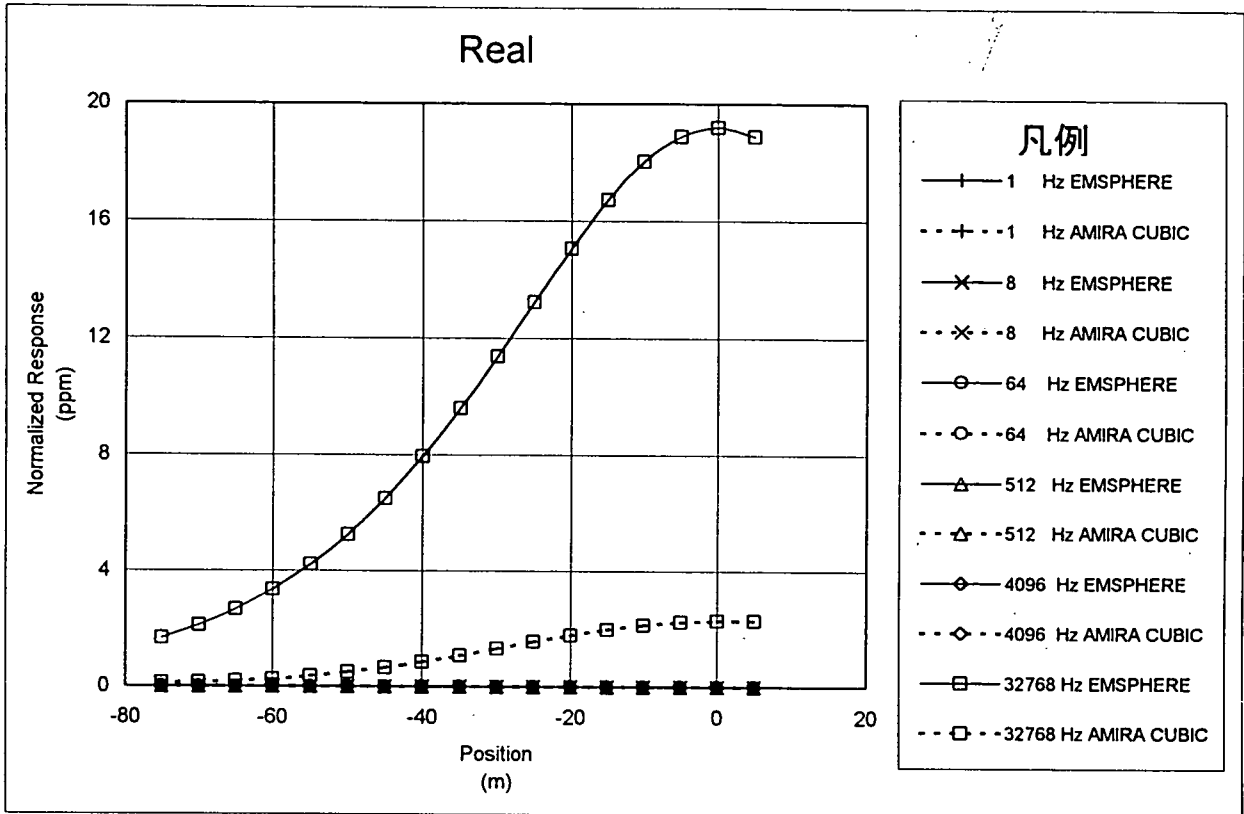


図4 EMSPHEREとAMIRA CUBICによる球および立方体モデル応答の比較

### A-3 岩石表面鉱物と反射スペクトルの関係について



## 1. はじめに

粘土鉱物やその類似の鉱物の赤外の波長領域の分光反射スペクトル（以下、単に反射スペクトルという）特性は、古くから多くの研究者によって調べられている。

反射スペクトルとは、光源から出た光が測定試料表面で反射され、その反射光を分光光度計で測定したものであるが、粘土鉱物などの 2～2.5 $\mu\text{m}$  の中間赤外域での反射スペクトルは、試料表面全体の反射率と、鉱物が持つOH基に起因する吸収線（吸収スペクトル）が重なった形となって現れる。この吸収スペクトルの現れる波長位置や吸収スペクトルの大きさ・形状から粘土鉱物やその類似の鉱物が同定でき、この方法は赤外線分析法として知られている。

反射スペクトルは試料調整を行わなくとも測定できるため、近年の分光光度計の性能向上とともに、可搬型の測定器を鉱物資源探査現場に持ち込んで反射スペクトルを測定し、即座に粘土鉱物などを同定するといった、探査を効率的に行う手法が検討されている<sup>1) 2)</sup>。しかし、探査現場では今まで研究されているような純粋な鉱物のみを相手にするわけではなく、多くの場合、数種類の鉱物が混合しているため、その反射スペクトルの形状は複雑なものとなる。

東濃地科学センター・技術開発課では、平成元年から2年にかけて、オーストラリア国内で事業団が保有する鉱区内から岩石を採取し、その岩石試料の表面反射スペクトルと定性的な回折X線を測定してデータベース化を行っている。多くの試料では、X線回折で検出された鉱物と、岩石表面の反射スペクトルに現れる吸収スペクトル（波長位置およびその形状）から同定される鉱物とは一致していたが、中にはX線回折でのピーク高から、かなりの割合で含有されていると思われる粘土鉱物が確認されながら、反射スペクトルにはその特徴を示す吸収スペクトルが全然現れないか、極小さな吸収スペクトルしか示さないものもあった。このような現象は、粒子状の物質の粒径が小さい場合<sup>3)</sup>や、吸収を起こす振動に方向性がある場合に見られる。しかし、自然界の岩石ではこの要因とは別に、吸収の大きさはその吸収スペクトルを示す鉱物が、測定視野内に面積比率としてどれくらい存在するか、また、岩石表面がどのような色をしているかと言ったことに関連しているとも考えられた。

このような背景から、室内実験で鉱物試料を混合して、実際の岩石表面を模擬しながら反射スペクトルの測定を行い、反射スペクトルと岩石表面の状態や色についての関連性について調べた。

## 2. 目的

X線回折で粘土鉱物が検出されながら、岩石表面で測定した反射スペクトルに吸収が現れない原因を調査し、反射スペクトルから鉱物の存在を推定をする際に必要な知見を得ることを目的とする。

### 3. 実施内容

#### 3.1 実施方針

今回、以下の2点について、室内実験による検討を行った。

- a) 白色に近く表面反射率が高い2種類の鉱物の、反射スペクトル測定時の面積比率と吸収スペクトルの大きさの関連性について
- b) 表面反射率の低い鉱物が、他の鉱物の吸収スペクトルの形状および大きさに与える影響について

反射スペクトル測定は、米国 GBR社製のIRIS Mark IVを使用した。本測定機の測定波長範囲は0.35～2.5 $\mu\text{m}$ で、分解能は0.35～1.0 $\mu\text{m}$ の範囲では2 nm、1.0～2.5 $\mu\text{m}$ の範囲では4 nmである。また測定時には300Wのハロゲンランプ2燈を使用し、標準反射板として硫酸バリウムを塗布したアルミプレートを用いた。

また、報告書の反射スペクトルのグラフ出力は、米国Research System Inc.社製のENVI/IDLプログラムを用いたものであり、さらに、最後のページに岩石の写真とX線回折結果を載せた。なお、今回実測の反射スペクトルの他に、参照データとして、技術開発課で所有するオーストラリアの岩石の反射スペクトルデータカタログ<sup>4)</sup>と米国NASA/JPLでまとめられた純粋鉱物(粉末試料)の反射スペクトル集<sup>5)</sup>を用いた。

#### 3.2 白色に近く表面反射率が高い2種類の鉱物の、反射スペクトル測定時の面積比率と吸収スペクトルの大きさの関連性について

##### 3.2.1 背景

図1に、西オーストラリア州で採取した砂岩(岩石番号RCP201)の反射スペクトルと、NASA/JPLの反射スペクトル集から引用した白雲母標準試料(粉末)の反射スペクトルを示す。図1中、2.2 $\mu\text{m}$ 付近に現れている吸収スペクトルは、白雲母のOH基とAl-O-Hの振動の結合音によるものである。

図中に示す岩石薄片の顕微鏡観察結果から、この砂岩の白雲母の存在比は非常に小さいにも関わらず、2.2 $\mu\text{m}$ 付近に現れる吸収スペクトルの大きさは、白雲母試料に比べてかなり大きいことがわかる。(なお、砂岩に含まれる他の主要鉱物である、石英およびカリ長石はともにOH基を持っていないため、2.2 $\mu\text{m}$ 付近には吸収スペクトルは示さない。)このような場合、吸収の大きさ吸収を示す鉱物の面積比率に関係しないのか、あるいは、観察のしにくい岩石表面には吸収を示す鉱物が多く存在しているのかが判断ができない。そこで、上記の砂岩表面を模擬するため、白色に近く表面反射率が高い2種類の鉱物を混ぜた試料の反射スペクトルを測定し、各鉱物の面積比率と反射スペクトルの関連性を室内実験によって確かめた。

##### 3.2.2 石英とカオリナイトを混ぜた試料の反射スペクトル

使用したサンプルは市販の石英粒(海砂:粒径420～840 $\mu\text{m}$ )と米国Clay Minerals Societyから入手したカオリナイト(粒径2 $\mu\text{m}$ 程度)である。個々の実測反射スペクトルを図2に示す。両者ともに乳白色～白色であるため、全体の反射率は非常に高い。石英粒の反射スペクトルでは顕著な吸収は見られないが、カオリナイトの反射スペクトルには、2.2 $\mu\text{m}$ 付近にOH基とAl-O-Hの振動の結合音によって生じるノッチを伴う吸収と、1.4 $\mu$

m付近にOH基の基本振動の倍音によって生ずる特徴的なダブルレットが見られる。

そこでまず、両試料を混ぜ合わせず、図3に示すように矩形のシャーレの対角線の右半分の三角の部分をカオリナイト、左半分の部分を石英粒で敷き詰め、そのシャーレを移動させることによって、測定視野における両者の面積比率を0～100%の間、目視で約25%ずつ変えて反射スペクトルを測定した。その結果を図4に示す。

図4から、特にカオリナイトが多く存在するほど全体的な反射率は高い方に移動することがわかるが、これは、図2の個々の反射スペクトルを見れば明らかである。さらに、カオリナイトによる1.4および2.2 $\mu$ m付近の吸収スペクトルは、カオリナイトの面積比率が多くなるほど2つとも吸収は大きくなることがわかる。

次に、ある一定量の石英粒にカオリナイトを少量ずつ加え両者をよく混ぜ合わせた後、その反射スペクトルを測定した。一回に加えるカオリナイトの量は、石英粒の体積に比べてごくわずか(0.5%未満)である。この作業を5回繰り返して得た反射スペクトルを図5に示す。混在試料の場合と比較すると、混合させることによって、体積比でわずかのカオリナイトでも、1.4および2.2 $\mu$ m付近の吸収スペクトルを認識することができる。これは、混合することによりカオリナイト粉末が表面に広がるために、測定視野内の面積比率としてはかなり大きくなっているためと考えられる。ただし、これらの吸収スペクトルの大きさは、カオリナイトの混合量に比例して大きくなっていくわけではなく、混合量が4回目と5回目ではほぼ同じであった。これは、石英粒とカオリナイト粉末の粒径が非常に異なるため、カオリナイト粉末が石英粒間にはいつてしまうためと考えられる。また混在試料と同様に、全体的な反射率については、カオリナイトの量が増えるほど高くなる傾向が認められた。一方、混在試料の場合と異なり、1.2 $\mu$ m付近に顕著な吸収スペクトルが認められるようになった。この波長位置の吸収は、おそらくOH基の振動によるものと思われる。実際、カオリナイト試料の反射スペクトルに測定ノイズと同程度に極小さく見られる(図1)。混合試料で顕著になった理由を表すモデルとして、測定試料表面が石英粒によってでこぼこしており、そのため入射光が石英粒の表面で反射され、見掛け上入射光量が増すことによって吸収スペクトルが大きくなったのではないかと考えられる。このことから、2次入射光の影響により他の2つの吸収(1.4および2.2 $\mu$ m)の大きさも、実際の面積比率に比べると大きくなっている可能性が考えられる。

### 3.3 表面反射率の低い鉱物が、他の鉱物の吸収スペクトルの形状および大きさに与える影響について

#### 3.3.1 背景

前項により、岩石表面反射率が比較的高い2種類の鉱物が混ざった試料では、定性的ではあるが、吸収スペクトルの大きさが測定視野の鉱物の面積比率に依存するとともに、鉱物の混合により生じると考えられる2次入射光が、吸収スペクトルの大きさに影響する可能性のあることがわかった。

一方、石墨質片岩のように黒色物質が含まれる場合、全体的な表面反射率が低くなり、吸収を示す鉱物が多量に存在しても、その吸収スペクトルは極端に小さくなるか、あるいは、なくなってしまうことが確認されている。この例として、石墨質片岩(岩石番号T-8)の反射スペクトルを図6に示す。最後のページのX線回折では、雲母(おそらく絹雲母)

のピークが大きく、前項の砂岩よりも多く存在すると考えられるにも関わらず、反射スペクトルは全体に低い反射率であり、また絹雲母の存在を示す  $2.2\mu\text{m}$  付近の吸収は全く認められていない。

このことから、黒色物質がどの程度、他の鉱物の吸収スペクトルに影響するのか、前項と同様に混在/混合試料を作り、それらの反射スペクトルを測定した。

### 3.3.2 黒色物質と粘土鉱物の混合試料の反射スペクトル

黒色物質として市販のコピー用トナーを使用した。これは、カーボン粉末からできており、結晶構造は取らないが、石墨の呈する黒色を模擬できるものと考えられる。図7にカーボン粉末の実測反射スペクトルと、NASA/JPLから引用した石墨の反射スペクトルを示す。どちらも全波長域にわたり低い反射率を示すことがわかる。

前項と同様の方法で、カーボン粉末と粘土鉱物を混ぜた試料の反射スペクトルを測定した。

まず、カーボン粉末と前項のカオリナイト標準試料の混在試料の反射スペクトルを、前項と同じ矩形のシャーレを使って測定した（今度は右側にカーボン粉末、左側にカオリナイト）。その反射スペクトルを図8に示す。図8から測定視野内でのカオリナイトの面積比率が小さくなるにしたがい、 $2.2\mu\text{m}$  付近の吸収は小さくなるとともに、全体の反射率も低くなっていくことがわかる。このことは、黒色物質により全体の反射率が減少するために、 $2.2\mu\text{m}$  付近の吸収が相対的に見掛け上小さくなることが考えられ、粘土鉱物の面積比率のみに関係しているのかは明らかでない。

次に、混合試料の反射スペクトルの測定を行った。ここで、標準カオリナイト試料の在庫量が少なかったため、オーストラリアで採取した絹雲母片岩（岩石番号RCP24-1）を利用した。図9に絹雲母片岩の粉末試料の反射スペクトルを示す。標準カオリナイト試料と異なり、灰色がかった色を呈するため、全体的な反射率はやや低めである。X線回折から絹雲母とカオリナイトが含まれていることがわかるが、図9の反射スペクトルの  $1.4$  や  $2.2\mu\text{m}$  付近の吸収スペクトルにカオリナイトの特徴は認められず、絹雲母の方が吸収特性としては優勢である。

この粘土鉱物試料の一定量に、その体積に比べごくわずか（0.5%未満）のカーボン粉末を加えてよく混ぜ合わせた後、その反射スペクトルを測定した。これを5回繰り返し測定したものと、さらに、混在試料の面積比率と同等と考えられる、体積比でカーボン粉末が粘土鉱物試料の25%のものおよび50%のものについて測定した反射スペクトルを図10に示す。混在試料の場合と同様に、混合するカーボン粉末の量が増えるのにしたが、試料全体の反射率が低くなり、顕著だった  $2.2\mu\text{m}$  付近の吸収スペクトルの大きさは極端に小さくなっている。特に、混合するカーボン粉末がごく少量で表面の色が薄灰色～灰色であっても、粘土鉱物の吸収スペクトルは、カーボン粉末の面積比が75%の場合の混在試料の反射スペクトルと同程度に小さくなった。さらに、カーボン粉末の体積比が25%の混合試料で、すでに粘土鉱物の吸収スペクトルは現れなくなった。このことを3.2項で述べた入射光についてのモデルから説明すると、カーボン粉末のような黒色物質は、入射光のみならず表面にわずかに存在する粘土鉱物による反射光も吸収してしまうためと考えられる。

### 3.4 反射スペクトルによる鉱物の定量法の検討

3.2および 3.3項から、粘土鉱物に表面反射率が高い鉱物が混ざった場合と、表面反射率の低い鉱物が混ざった場合の反射スペクトルについて、定性的ながら以下のような知見が得た。

①表面反射率が高い鉱物が混ざった場合、粘土鉱物の示す吸収スペクトルの大きさは、その鉱物の面積比率と相関がある。特に、両鉱物を混合した場合には、2次入射光の影響で実際面積比率よりも見掛け上大きな吸収を示す可能性がある。

②表面反射率の低い鉱物が混ざった場合、表面反射率が低くなり、粘土鉱物の示す吸収スペクトルは相対的に小さくなる。

このように見掛け上異なった特性を、吸収スペクトルを示す粘土鉱物の存在量で表すことができないか検討を行った。そのため、吸収スペクトルの大きさをハル・クオシエント法<sup>6)</sup>による吸収量(%)で、また反射率の大きさを反射が安定している1.5 $\mu$ mにおける反射率(%)を用いることとした。ここで、図11にハル・クオシエント法の概要を示す。図中、ハルとは反射スペクトルの接線であり、着目する反射スペクトル上の極小点(吸収)について、その点の波長における反射率とハルとの差を取り、その差をハルの値で割ったものを吸収量と定義する。この方法によれば、全体の反射率が小さく、見掛け上小さな吸収しか現れない場合でも吸収を強調することができる。

上記に従い、前項で得た2組の混在試料(石英粒とカオリナイトおよびカーボン粉末とカオリナイト)の反射スペクトルについて1.5 $\mu$ mにおける反射率(%)および2.2 $\mu$ mにおける吸収量(%)を調べ、さらに、それぞれの値とカオリナイト標準試料の値とで比を計算した。その結果を表1にまとめる。

表1 混在試料の反射率と吸収量

|               | カオリナイトの面積比率 | 1.5 $\mu$ mにおける反射率(A) | 2.2 $\mu$ mにおける吸収量(B) | A/カオリナイト標準値 | B/カオリナイト標準値 |
|---------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------|
| 石英粒とカオリナイト    | 0%          | 82.4%                 | 8.2%                  | 0.844       | 0.274       |
|               | 25          | 82.4                  | 9.2                   | 0.844       | 0.308       |
|               | 50          | 83.2                  | 14.9                  | 0.852       | 0.498       |
|               | 75          | 88.8                  | 20.9                  | 0.910       | 0.699       |
|               | 100         | 94.4                  | 28.6                  | 0.967       | 0.957       |
| カーボン粉末とカオリナイト | 0%          | 11.6                  | 21.7                  | 0.119       | 0.726       |
|               | 25          | 22.0                  | 28.4                  | 0.225       | 0.950       |
|               | 50          | 39.2                  | 30.1                  | 0.402       | 1.007       |
|               | 75          | 65.6                  | 31.7                  | 0.672       | 1.060       |
|               | 100         | 87.6                  | 31.4                  | 0.898       | 1.050       |
| カオリナイト標準値     |             | 97.6                  | 29.9                  | --          | --          |

表1において、反射率の高い鉱物との混在の場合、1.5 $\mu$ mでの反射率はカオリナイトの面積比率が変わってもあまり変化しないのに対し、2.2 $\mu$ mにおける吸収量が25~75%の範囲の面積比率と相関があることがわかる。一方、反射率の低い鉱物との混在の場合、2.2 $\mu$ mにおける吸収量と面積比率とは相関が見られないのに対し、1.5 $\mu$ mでの反射率

がほぼ面積比率に比例している。なお、測定に使用したIRIS Mark IVでは、測定範囲を目視でしか決められないため、表1でカオリナイトの面積比率が0や100%としたものでも、正確にはその比率になっていないと思われる。

以上の結果を利用し、1.5 $\mu$ mの反射率の標準試料に対する割合と2.2 $\mu$ mの吸収量の標準試料に対する割合との積を取り、カオリナイトの面積比率とどのような関係があるのかプロットした(図12)。反射スペクトルの測定範囲があまり正確でないことを考慮すると、1.5 $\mu$ mでの反射率の割合と2.2 $\mu$ mにおける吸収量の割合の積は、測定対象物の表面の色に関わらず、存在量とかなりよい相関を示すと言える。

これらの結果を踏まえ、図5と図10に示した混合試料の反射スペクトルおよび、図1に示した砂岩の表面および、それを2 $\mu$ m程度の粉末にして新たに測定(図13)した反射スペクトルを使って、1.5 $\mu$ mでの反射率の割合と2.2 $\mu$ mにおける吸収量の割合の積を求めた(なお、今回は便宜上、カーボン粉末との混合および砂岩についての比も、カオリナイト標準値を用いた)。その結果を表2にまとめる。

表2 混合試料および砂岩の反射率と吸収量

|                 | 混合比<br>(図に準拠) | 1.5 $\mu$ mにおける<br>割合① | 2.2 $\mu$ mにおける<br>割合② | ①×②   |
|-----------------|---------------|------------------------|------------------------|-------|
| 石英粒と<br>カオリナイト  | No. 1         | 0.873                  | 0                      | 0     |
|                 | No. 2         | 0.873                  | 0.221                  | 0.193 |
|                 | No. 3         | 0.873                  | 0.278                  | 0.243 |
|                 | No. 4         | 0.914                  | 0.381                  | 0.348 |
|                 | No. 5         | 0.914                  | 0.435                  | 0.398 |
| カーボン粉末と<br>粘土鉱物 | No. 1         | 0.422                  | 0.686                  | 0.289 |
|                 | No. 2         | 0.344                  | 0.555                  | 0.191 |
|                 | No. 3         | 0.279                  | 0.502                  | 0.140 |
|                 | No. 4         | 0.234                  | 0.445                  | 0.104 |
|                 | No. 5         | 0.234                  | 0.455                  | 0.106 |
| 砂岩              | 表面            | 0.414                  | 0.849                  | 0.351 |
|                 | 粉末            | 0.512                  | 0.281                  | 0.144 |

先に述べたように、石英粒とカオリナイトの混合試料では、実際的面積比率よりも吸収が大きく、上表の値は見積もり過ぎている可能性があることに注意する必要がある。しかし傾向として、混合試料におけるカオリナイト(粘土鉱物)の面積比率は、1.5 $\mu$ mでの反射率の割合と2.2 $\mu$ mにおける吸収量の割合の積でもって表すことができると考えられる。このことから砂岩の結果を比較すると、砂岩表面には絹雲母が多く析出していたと言える。ただし、砂岩の顕微鏡観察結果は雲母の割合は0.1%に満たないとなっており、1.5 $\mu$ mでの反射率の割合と2.2 $\mu$ mにおける吸収量の割合の積で鉱物の存在量を定量するには、反射スペクトルの測定範囲と、その中に存在する鉱物の量が同時に確定できるような測定を行う必要がある。

#### 4. 結論

今回定性的ではあるが、岩石表面の反射スペクトル特性について以下の知見を得た。

a) 白色に近く表面反射率が高い2種類の鉱物を混ぜた場合、鉱物の面積比率と吸収スペクトルの大きさは良い相関を示す。ただし、2種類の鉱物を混合させた場合では、2次入射光の影響によると思われる、吸収スペクトルの大きさが顕著になる現象が見られた。

b) 表面反射率の低い黒色物質は、その混合比にほぼ比例して試料全体の反射率を下げ、相対的に吸収スペクトルを不鮮明なものとする。ただし、ある混合比の範囲ならば、ハル・クオシエント法による吸収スペクトルの吸収量は、黒色物質を混合しないもとの吸収スペクトルと同程度であることがわかった。

さらに定量的な知見として、 $1.5\mu\text{m}$ での反射率の割合と $2.2\mu\text{m}$ における吸収量の割合の積は、測定対象物の表面の色に関わらず、存在量とかなりよい相関を示すことがわかった。この結果、砂岩表面には全体的な含有量に比べて多くの絹雲母が析出しているのではないかということが示唆された。

#### 5. まとめ

岩石表面は風化鉱物が析出していたり、地衣類が付着していたりするため、どのような鉱物があるのかほとんど観察できないのが現状である。したがって、X線回折で粘土鉱物が検出されていても、岩石表面の反射スペクトルに吸収が現れない場合は、岩石表面には鉱物がないものと判断せざるを得なかった。しかし、今回の室内実験から定性的ではあるが、吸収スペクトルの大きさは、測定視野における鉱物の面積比率に相関すると同時に、黒色の物質の影響によって吸収は相対的に小さくなることが示された。

また、 $1.5\mu\text{m}$ の反射率の標準試料に対する割合と $2.2\mu\text{m}$ の吸収量の標準試料に対する割合との積が、反射スペクトル測定からある鉱物の存在比を定量的に知るための手法となるのではないかということが示された。

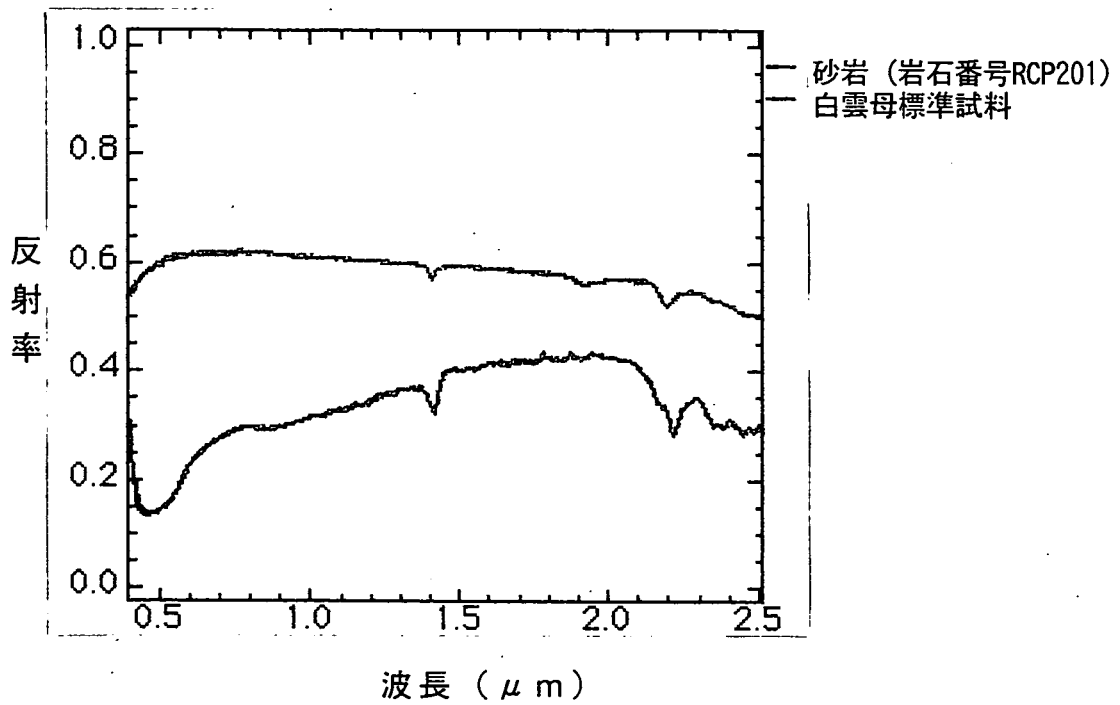
#### 6. 今後の課題

反射スペクトルは言うまでもなく、地表の反射率の情報を反映しているリモートセンシングの基礎データである。今回、岩石表面の反射スペクトルについて検討したが、今後、風化表面と新鮮な面の両方の反射スペクトルを測定し、統計的に関連性を調べることによって、表面の反射スペクトルから新鮮な面の鉱物の存在を推定することが可能となると考えられる。

## 7. 参考文献

- 1)内田清孝, 井上常史 : 島根県大森鉱山周辺における岩石の分光反射スペクトル測定による変質分帯-手法の検討-, 資源地質, Vol143-2 (1993) 65-77
- 2)Mineral Mapping with Field Spectroscopy for Exploration, AMIRA P435 Project (1994)
- 3)Vincent, R.K and Hunt, G.R. : Infrared reflectance from mat surface , Applied Optics, Vol.7, pp53-58 (1968)
- 4)ウラン資源探査地域における岩石の反射スペクトルデータカタログ, PNC PN7450 92-002 (1993)
- 5)Laboratory Reflectance Spectra of 160 Minerals, 0.4 to 2.5 Micrometers, JPL Publication 92-2, NASA/JPL (1992)
- 6)Green, A.A. and Craig, M.D. : Analysis of aircraft spectrometer data with logarithmic residuals, Proceedings of the Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop, JPL Publication 85-41, NASA/JPL, pp.111-119 (1985)





砂岩の薄片の顕微鏡観察結果

石英>>カリ長石>>泥岩・斜長石・白雲母

基質：碎屑粒子 = 7 : 93

碎屑粒子

石英85.1%, カリ長石7.0%, 泥岩0.3%, 白雲母0.1%

基質

塵状物2.6%, 雲母4.6%, 不透明鉱物0.3%

図1 砂岩表面と白雲母試料の反射スペクトル

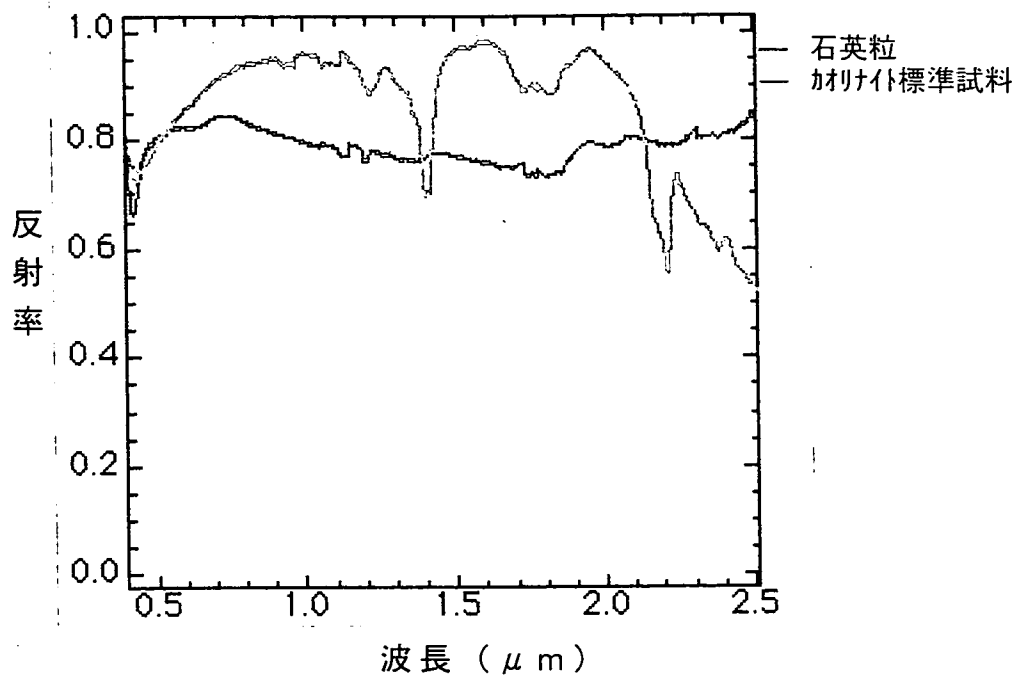


図2 石英粒とカオリナイトの反射スペクトル

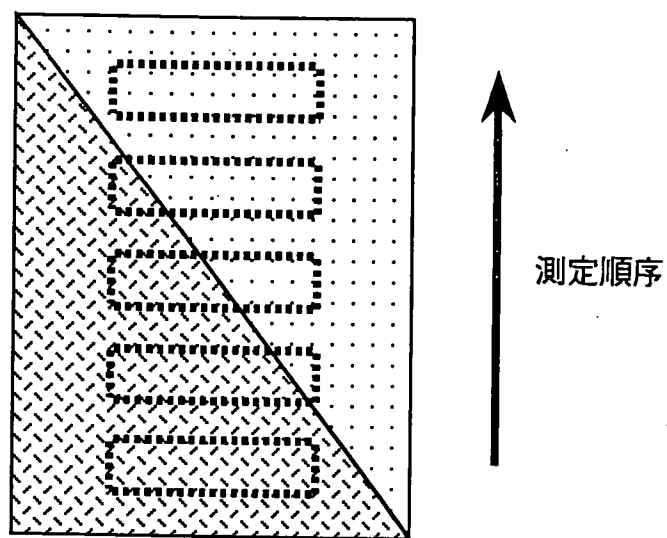


図3 混在試料の測定条件  
 (網かけした場所に異なる鉱物を敷きつめる。  
 図中の点線枠内が理想的な測定範囲)

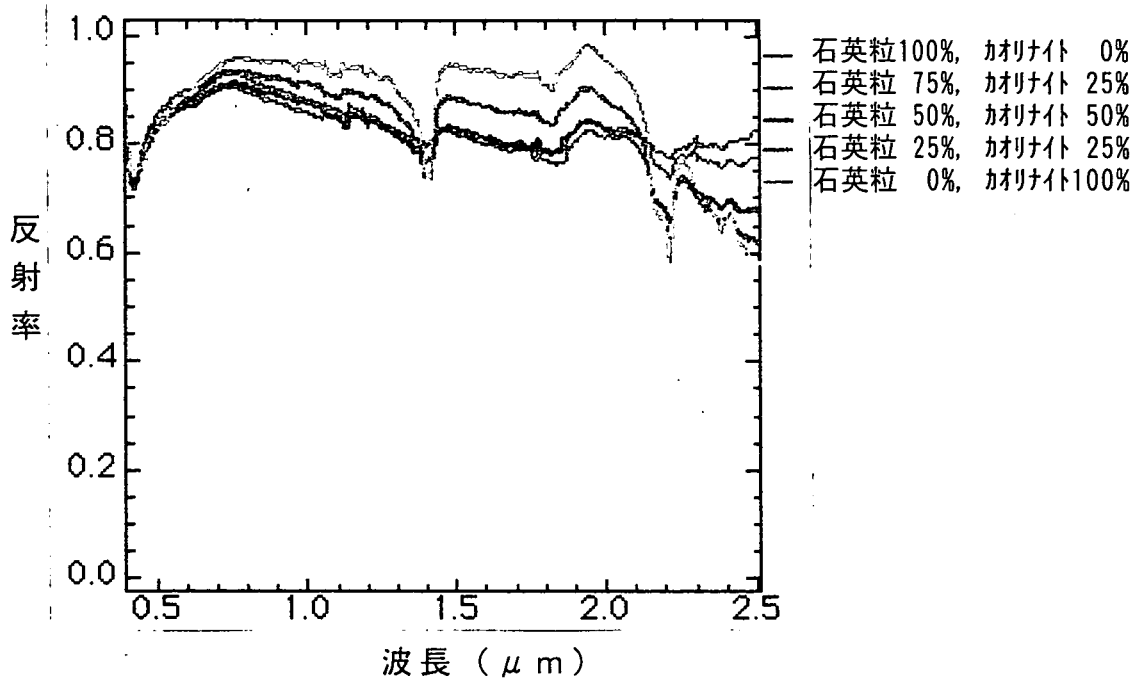


図4 石英粒とカオリナイトの混在試料の反射スペクトル  
 (反射スペクトル番号が増えるに従って、カオリナイトの測定視野内での面積比率が約25%ずつ増える。)

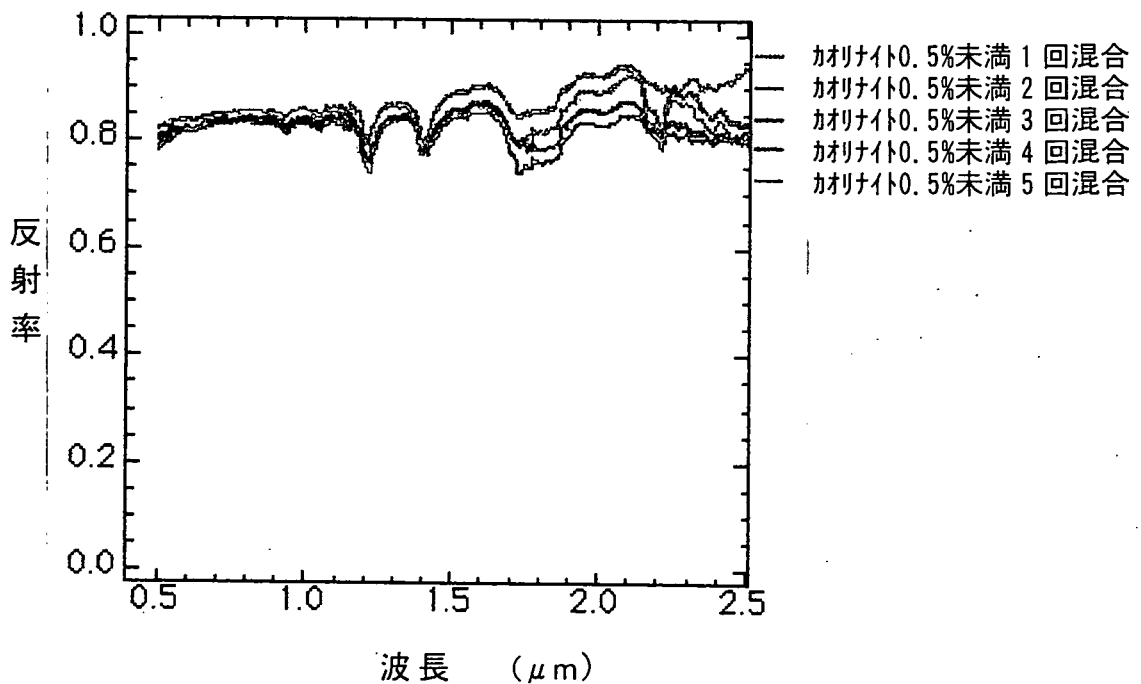


図5 石英粒とカオリナイトの混合試料の反射スペクトル  
 (反射スペクトル番号が増えるに従って、カオリナイトの混合量が増える。)

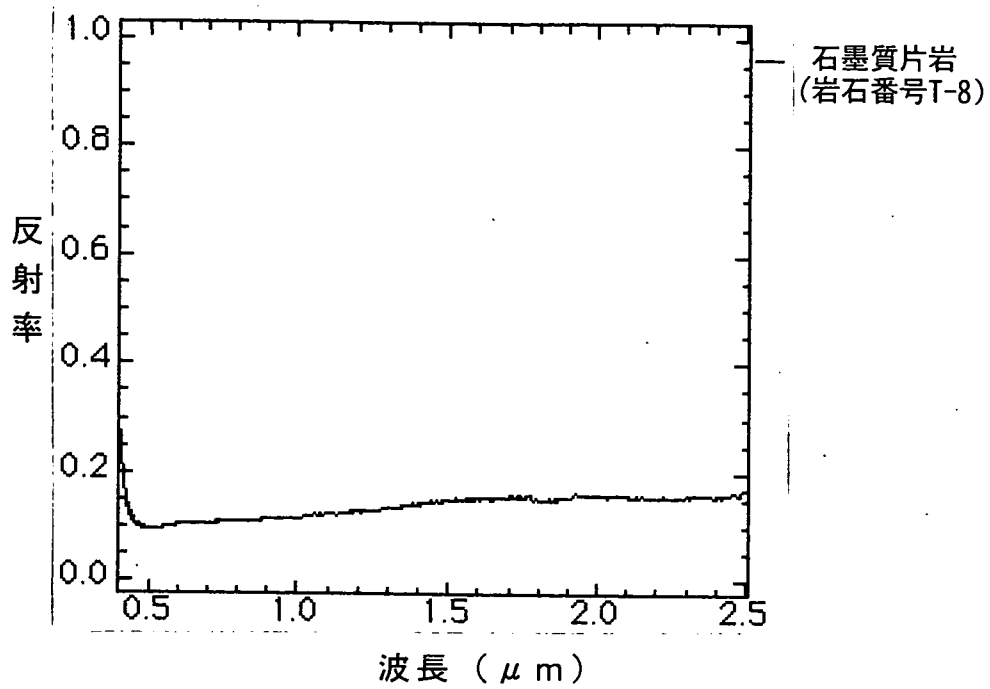


図6 石墨質片岩の反射スペクトル

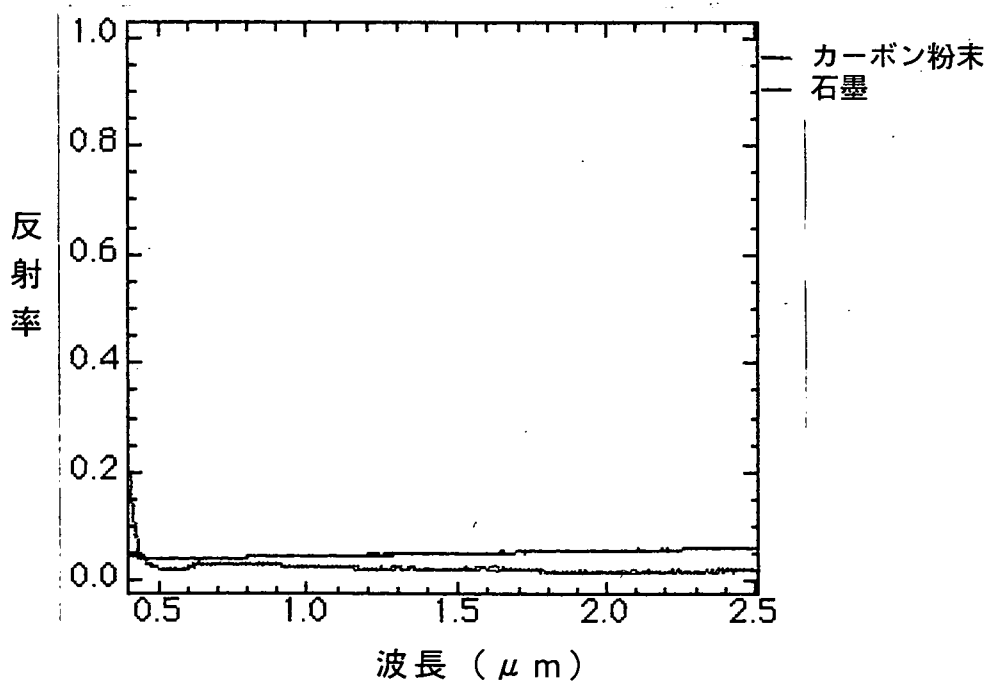


図7 カーボン粉末と石墨の反射スペクトル

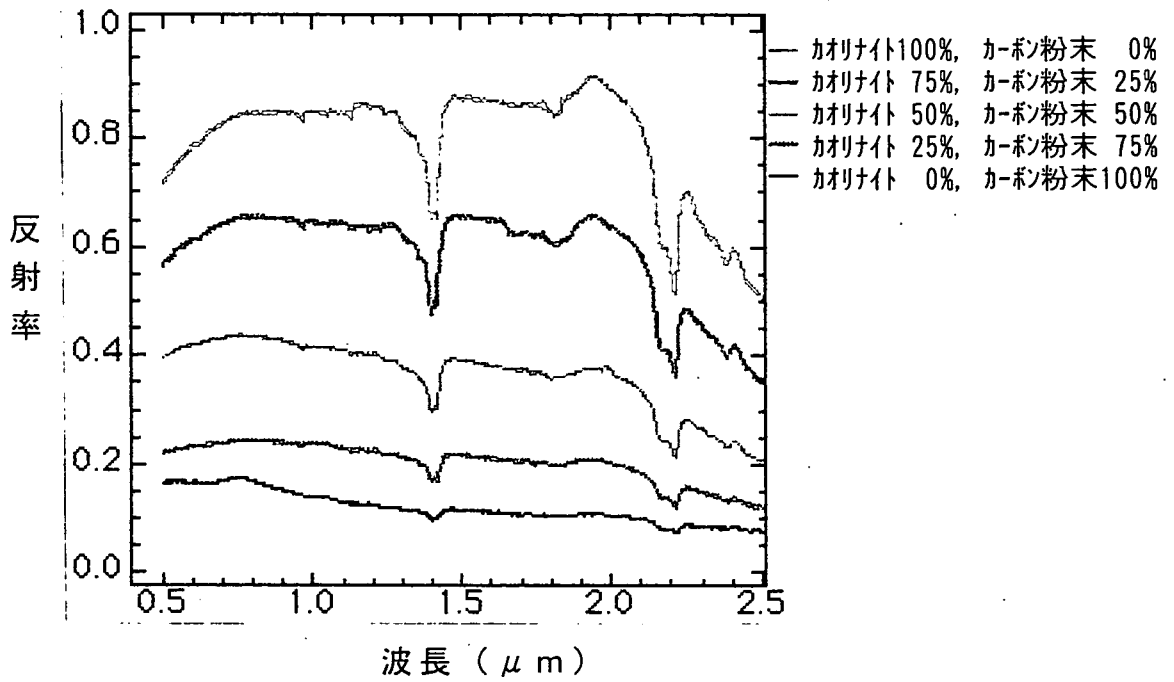


図 8 カーボン粉末とカオリナイトの混在試料の反射スペクトル  
 (反射スペクトル番号が増えるに従って、カーボン粉末の測定視野内での面積比率が約25%ずつ増える。)

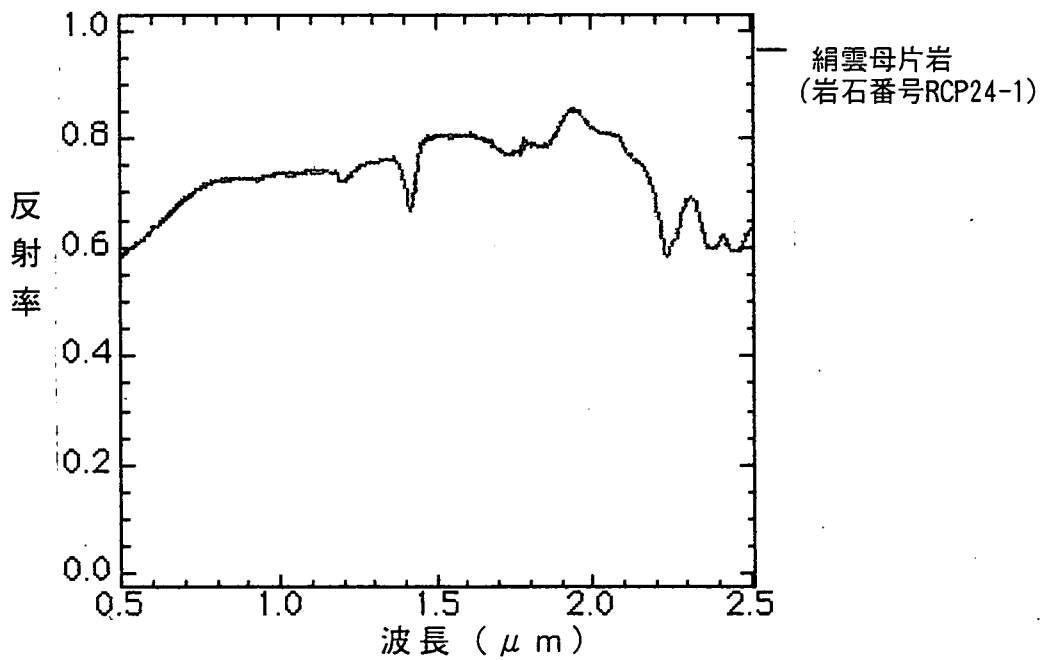


図 9 粘土鉱物の反射スペクトル

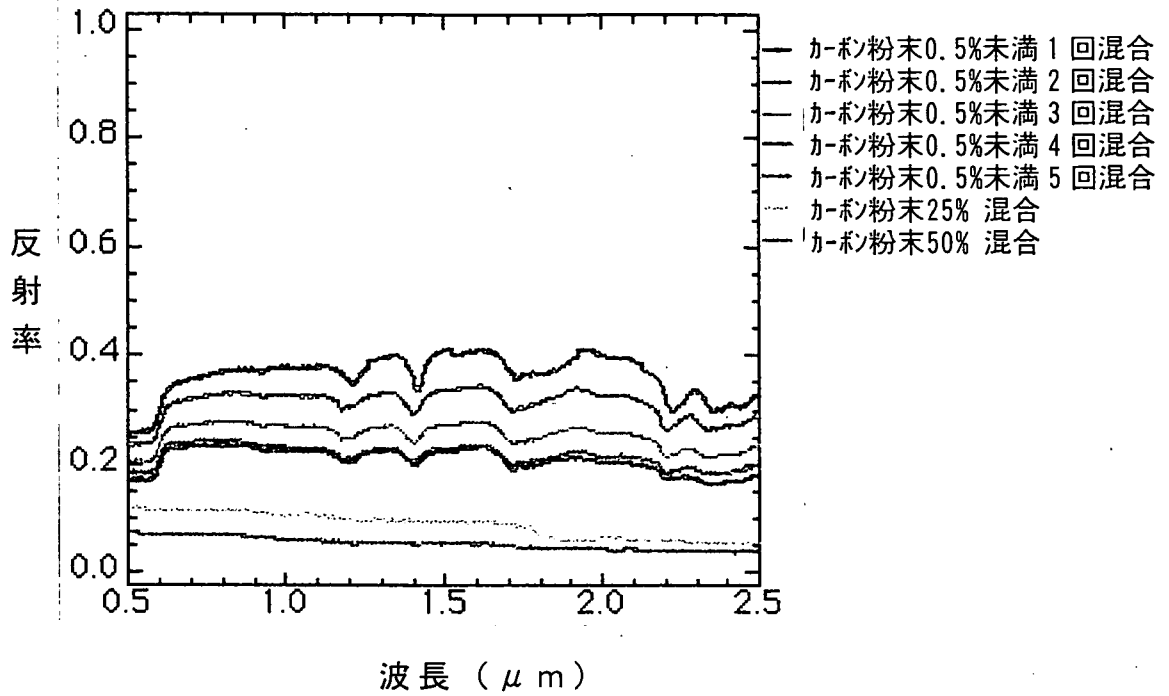


図10 カーボン粉末と粘土鉱物の混合試料の反射スペクトル  
 (反射スペクトル番号が増えるに従って、カーボン粉末の混合量が増える。)

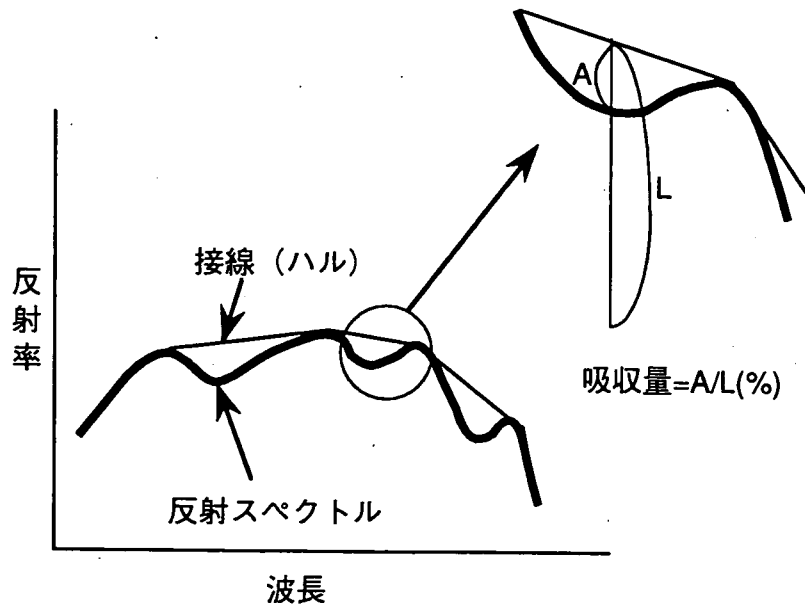


図11 ハル・クオシェント法の概要

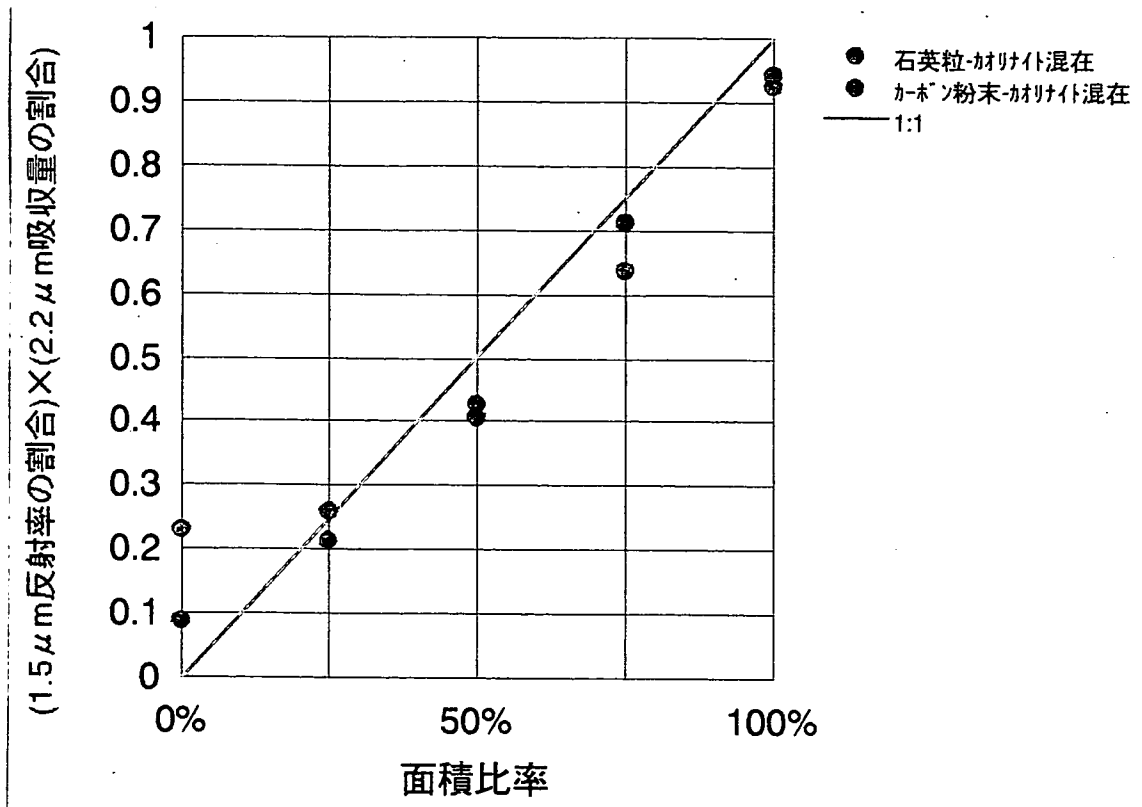


図12 反射スペクトルと面積比率の関係

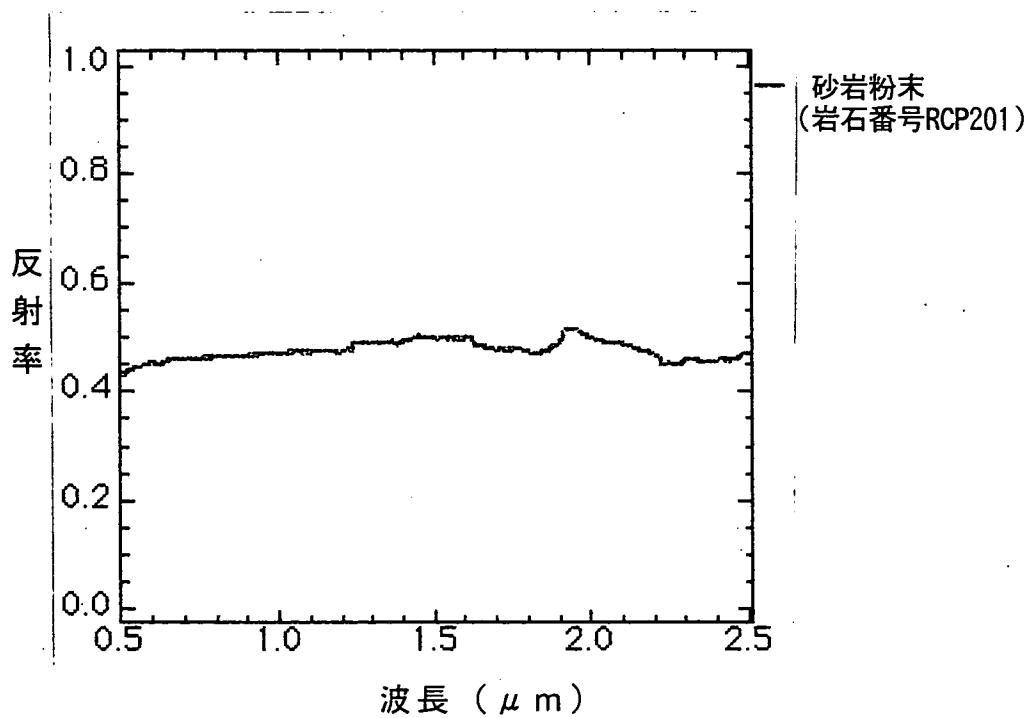
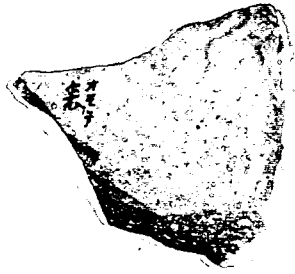


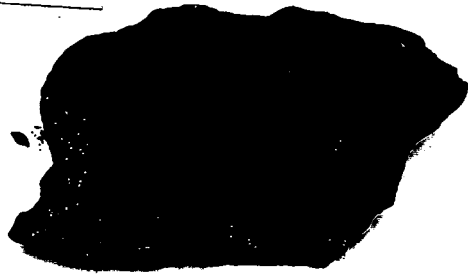
図13 粉末にした砂岩の反射スペクトル

RCP201



0 10 (cm)

T-8



0 10 (cm)

RCP-24-1





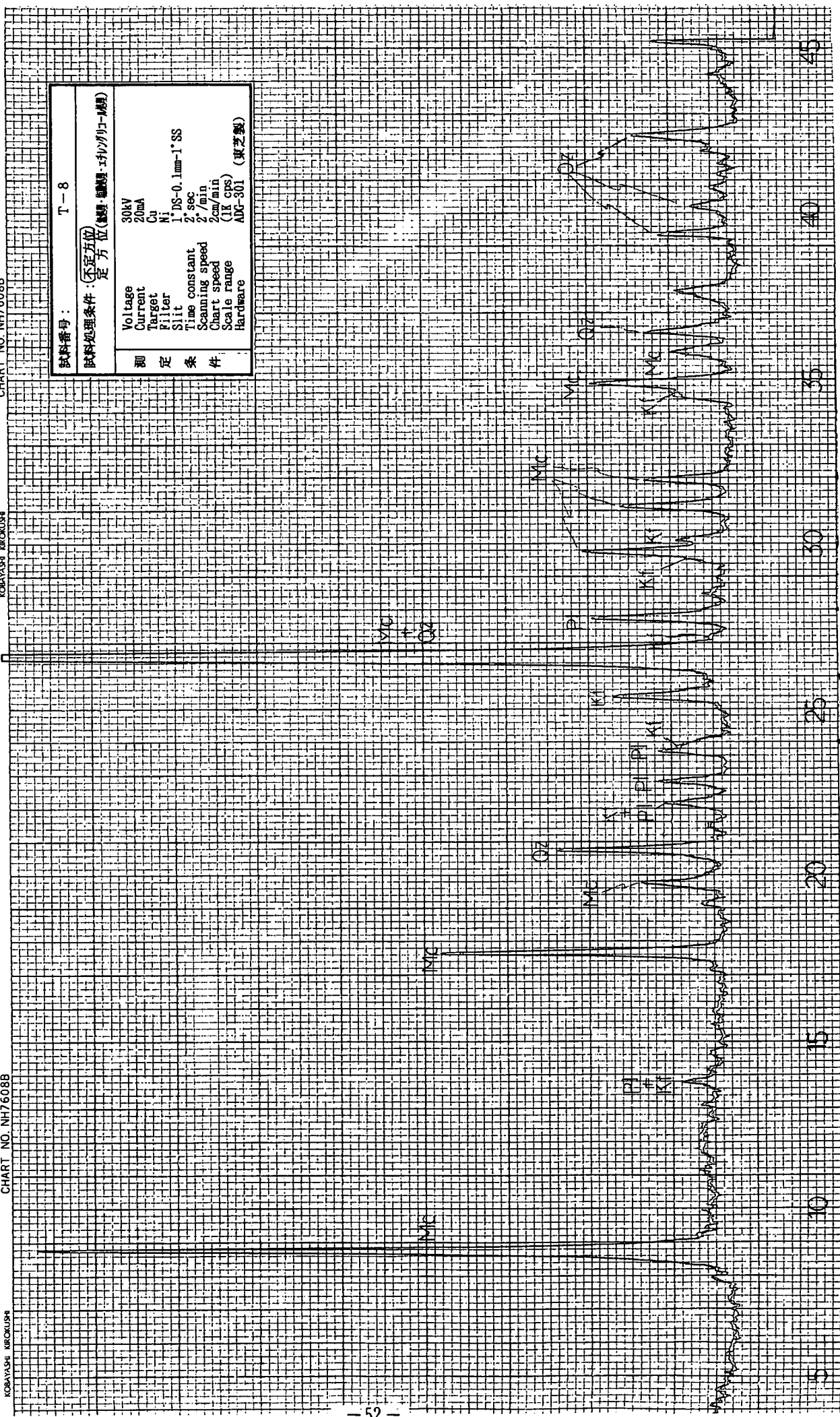
CHART NO. NH7608B

KOBAYASHI KROKUSHI

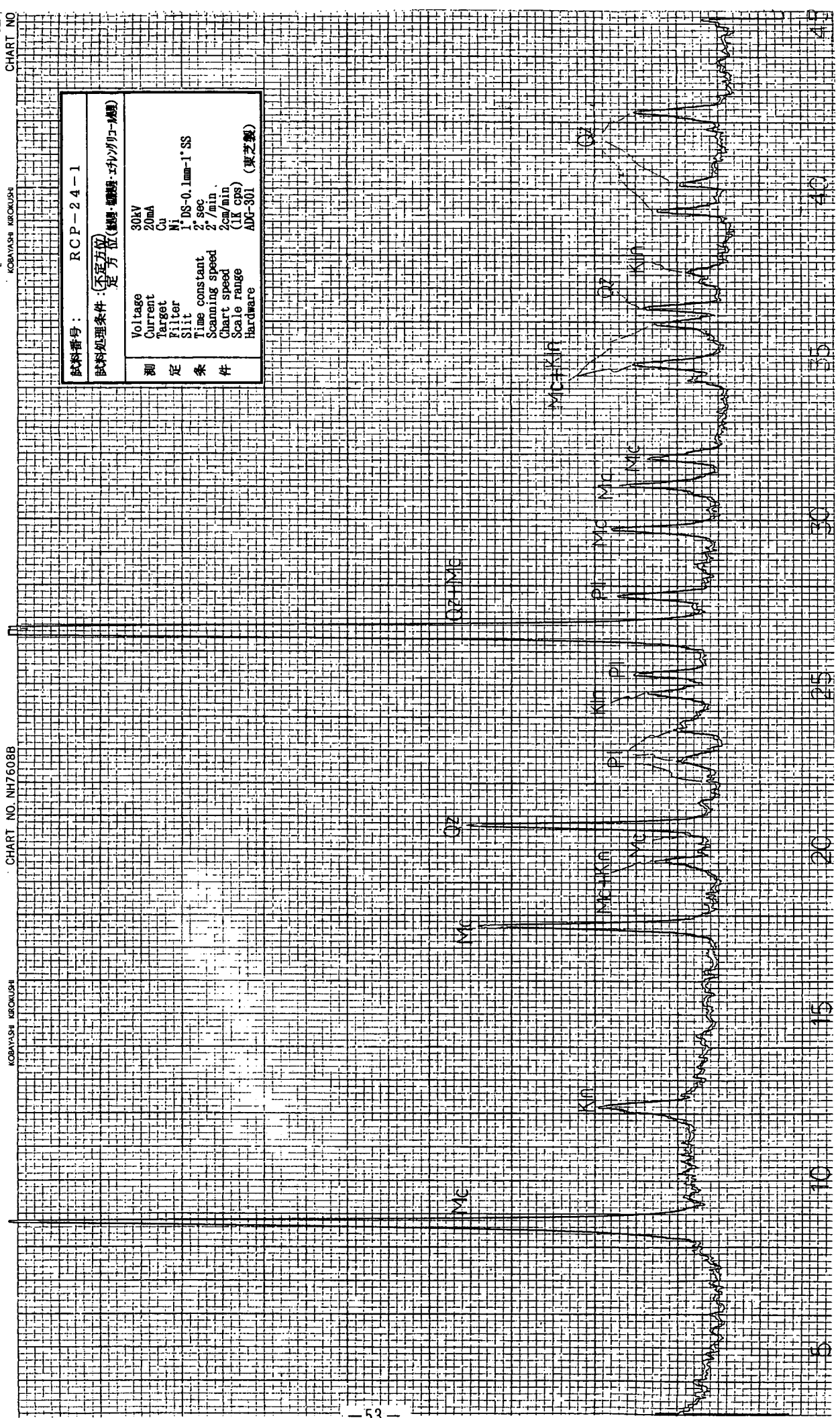
CHART NO. NH7608B

KOBAYASHI KROKUSHI

|         |  |
|---------|--|
| 試料番号:   | T-8  |
| 試料処理条件: | (不定方位)<br>定方位 (線型・線型・エッジ/リコー)  |
| 測定条件    | Voltage 30kV<br>Current 20mA<br>Target Cu<br>Filter Ni<br>Slit 1° DS-0.1mm-1° SS<br>Time constant 2. sec<br>Scanning speed 2 /min<br>Chart speed 2cm/min<br>Scale range (1K cps)<br>Hardware ADG-301 (東芝製) |



|                |                            |
|----------------|----------------------------|
| 試料番号:          | RCP-24-1                   |
| 試料処理条件:        | (不安定) 定方位 (銅線・銅線・5ヶ所カッター線) |
| Voltage        | 30kV                       |
| Current        | 20mA                       |
| Target         | Cu                         |
| Filter         | Ni                         |
| Slit           | 1.0S-0.1mm-1°SS            |
| Time constant  | 2. sec                     |
| Scanning speed | 2"/min                     |
| Chart speed    | 2cm/min                    |
| Scale range    | (1K cps)                   |
| Hardware       | ADG-301 (東芝製)              |



#### A-4 オーストラリア・北部準州キンガバ地域のラジサットTM画像の作成

A-4 オーストラリア・北部準州キングリバー地域のランドサットTM画像の作成  
担当：山岸

1. はじめに

本作業は、鉱区認可により平成8年度から本格的にウラン探査が開始される、オーストラリア・キングリバー地域の調査準備としてTM画像の作成を行ったものである。

同地域では、不整合関連型ウラン鉱床の胚胎が有望視されており、平成8年度に空中電磁探査を行う計画であるが、この地域には広くラテライトが分布するとされている。ラテライトは低比抵抗値を示すため、空中電磁探査で地下深部を見る際障害要因となる。そこで、もしTM画像から予めその分布を知ることができれば、空中電磁探査データの解析に有用な情報を提供でき、さらに同地域における地質調査に対しても有効な情報源となる。

ラテライトの主要構成鉱物の一つに針鉄鉱があるが、これは可視光から近赤外域の0.6～1.0 μm 付近に吸収スペクトルを示すため、TMデータからその特徴を抽出できると考えられる。しかし、同地域では高密度で植生が分布しているため、その影響を評価できる画像処理も同時に必要となる。

今回、比演算を使って酸化鉄鉱物の抽出を行うとともに、主成分分析と植生指標により植生の影響を評価できるTM画像を作成した。作成した画像は、オーストラリア法人シドニー事務所の協力により、平成8年度の地質調査で今回の手法による処理でラテライトが抽出できるか、さらにその他の岩相識別に有効であるか検討する予定である。

なお、作成した画像は地理情報システム(GIS)利用の一環として、GISソフトウェアであるArcViewのデータベースとして入力を行ったので、最後にその紹介を行っている。

2. 目的

不整合関連型ウラン鉱床の胚胎が有望であるキングリバー地域の探査準備として、ラテライトの分布を知るための画像の作成を行う。

3. 実施内容

3.1 データ処理手法

3.1.1 ラテライトの抽出

ラテライトは鉄およびアルミニウムの水酸化物からなる土壌であるが、主要構成鉱物の一つに針鉄鉱がある。針鉄鉱は可視光から近赤外域の0.6～1.0 μm 付近に特有の吸収スペクトルを示す酸化鉄鉱物として知られており(図1<sup>1)</sup>)、通常、針鉄鉱の抽出には、酸化鉄鉱物の中では針鉄鉱のみに吸収が現れるバンド3のDN値を、バンド1のそれで割る方法が使用される<sup>2)</sup>。一方、図1からわかるように、多くの酸化鉄鉱物ではバンド4に広い吸収を有する。そこで、今回、バンド3とバンド1の比の他に、バンド5とバンド4の比も用い、針鉄鉱および他の酸化鉄鉱物の抽出を試みることにした。

### 3.1.2 植生の影響

今回の解析対象地域は熱帯モンスーン気候帯に属し、亜熱帯性の樹木の繁茂する地域である。したがって、植生密度を評価するために、主成分分析<sup>3)</sup>と植生指標<sup>4)</sup>の2つの手法を用いた画像を作成した。以下に各方法の概要を説明する。

#### (1)主成分分析

通常、TMデータを用いた粘土変質帯抽出では、各種粘土鉱物が吸収を示すバンド7を分母に、また、顕著な吸収特徴が現れずに全体に反射輝度が高く、安定しているバンド5を分子にした比画像を用いることが知られている。この時、岩石の変質度を表すバンド5／バンド7と、植生密度を表すバンド4／バンド3の2次元データの分布は、模式的に図2のようになる。すなわち植生は、バンド5／バンド7およびバンド4／バンド3の両方の値が高くなるので、両者の相関軸に沿ったデータ分布となる一方、岩石はバンド4／バンド3の比はあまり変化せず、バンド5／バンド7軸に沿った分布を示し、その中で、各種粘土鉱物はバンド5／バンド7の値が高くなる。

この時、主成分分析を行うと、バンド5／バンド7とバンド4／バンド3の相関する成分は第1主成分に現れるので、植生から分離した露岩地帯はこの相関軸と直交する第2主成分で表される。

#### (2)植生指標

植生指標としていくつかの方法が提唱されているが、ここではTMデータのバンド3とバンド4の直交変換を用いる直交植生指標(PVI)を採用した。これは図3に示すように、画像上で植生の無いピクセルのバンド3とバンド4の2次元データ分布から定まるソイルラインから、各ピクセルがどのくらい直交距離で離れているかで、各ピクセルにおける植生の寄与度を定めるものである。

今述べたようにソイルラインの確立には、植生の無いピクセルを十分な数だけ画像データから抽出する必要があるが、今回の解析対象地域では事前調査ができないことから、植生が少ないと思われる部分の画像データのバンド3とバンド4の2次元データ分布について、その観測結果に基づいてソイルラインを設定した。

### 3.2 解析対象地区

オーストラリア・北部準州キングリバー地域(南緯11° 41' ~12° 08', 東経 133° 02' ~133° 28')の約40Km×50Km範囲(図4)<sup>5)</sup>。

### 3.3 対象地域の地質概略

キングリバー地域ではBarramundi造山期(1870~Ma)以前の基盤岩として、東部に花崗岩質ミグマタイトであるNimbuwah複合岩類が広く分布し、これをコアとして西方に向かってCahill累層に相当すると考えられるMyra Falls変成岩類、さらにNourlangie片岩類が南北系~北西系に分布する。なお、Nimbuwah複合岩類はOenpelli Dolerite(1690Ma)の広範な貫入を受けている。Nimbuwah複合岩類はグラニュライト相に達する変成を受けており、西方に向かって変成度が低下する。

Barramundi造山期後の被覆岩であるKombolgie砂岩(1790—1740Ma)は、地域北部および西部に分布し基盤岩を不整合に覆う。Kombolgie砂岩層の層厚はキングリバー地域北部

で50m程度であるが、南に行くほど増大している。Kombolgie 砂岩層は、McArthur変動期（1710Ma）に広域のカリ（イライト）－赤鉄鉱交代変質を被っている。

Myra Falls変成岩類は、アリゲーターリバーでの主たるウラン鉱化母層であるCahill累層に対比され、石英－長石質、およびざくろ石に富む片麻岩／片岩、縞状角閃岩（カルクシリケート？）等からなる。構造として、これらの縞状構造を切る北北西構造が顕著である。

1600Maに生じたと考えられるウラン鉱化作用は Mg-Al緑泥石±イライト変質に伴われる。また、Ninbawah Domain 中の全てのウラン鉱化は苦鉄質岩（Oenpelli Dolerite, Zamu Dolerite, Nunbalgarri Volcanics）が関与している。ウラン鉱化作用の起きた時期に、Fe-Mg 緑泥石が酸化され、Mg緑泥石／赤鉄鉱が形成されたと考えられており、変質帯として、内帯に Mg-Al緑泥石、赤鉄鉱、白色雲母（イライト）、外帯に白色雲母（イライト）、Fe/Fe-Mg緑泥石が見られる。

### 3.4 解析項目

#### 3.4.1 解析対象データ

使用データ：ランドサット5号 TMデータ（磁気テープ）

パス・ロウ：104-068, 104-069（モザイク画像）

記録形式：BILフォーマット（6250BPI）、バルク補正

観測日：1987.10.7

受信局：アリススプリングス

#### 3.4.2 画像処理システム

本解析における画像処理作業は、すべて東濃地科学センター・技術開発課所有の画像処理システム（ハードウェア：HP9000/755、ソフトウェア：CRSCBNT）によって行った。

#### 3.4.3 作成画像

今回作成した画像は、3.1で説明した、酸化鉄（主にラテライト）の特徴を強調するためのバンドの比演算と、植生の影響を評価するデータ処理を行ったもの、および、対象地域の地形情報を得るためのフォールスカラー画像である。表1に各画像の仕様をまとめる。

表1. 各画像の仕様

|            | 赤               | 緑         | 青         |
|------------|-----------------|-----------|-----------|
| フォールスカラー画像 | バンド4            | バンド3      | バンド2      |
| PCA2画像     | PCA2            | バンド5／バンド4 | バンド3／バンド1 |
| PCA1画像     | PCA1（シングルチャンネル） |           |           |
| PVI画像      | PVI（シングルチャンネル）  |           |           |

表中、PCA1とは主成分分析の第1主成分を、また、PCA2とは主成分分析の第2主成分を指す。

以下に、各画像の作成方法について述べる。

### (1) フォールスカラー画像

解析対象地域は、TMデータの上下2シーン(104-068, 104-069)にまたがって存在するが、今回使用したデータは同じ日に取得されたものだったので、まず、モザイク処理を施した後に幾何補正を行い、これを原データとして他の3つの画像作成にも利用できるようにした。

フォールスカラー画像は、上記の原データに対してコントラスト強調を行って作成した(図5)。この画像の場合、地形による陰影が保存されており、リニアメント等の構造が判読できるが、岩相区分の観点からは、露岩地域と思われる部分が青みがかった明るい灰色～暗い緑色で示される他は、岩相識別のための顕著な手掛かりは得られないことがわかる。

### (2) PCA画像

(1)で作成した原データのうち、海洋域を除いたバンド5/バンド7とバンド4/バンド3の2次元データ分布を図6に示す。図中、両者が相関しているクラスタ(図中A)とバンド4/バンド3の値が一定で、かつバンド5/バンド7の値が変化しているクラスタ(図中B)が認められる。この時、クラスタAが植生域に、またクラスタBが露岩地帯(高バンド5/バンド7ほど粘土変質帯)に相当すると考えられる。

ここで、植生の影響を除いた露岩地帯を抽出するために、解析対象地域(海洋域を含む)のバンド5/バンド7とバンド4/バンド3の比画像に対して主成分分析を行った。この時得られた固有ベクトルを表2に示す。

表2 固有ベクトルと各主成分の寄与率

|       | バンド5/バンド7        | バンド4/バンド3         |
|-------|------------------|-------------------|
| 第1主成分 | 0. 6 9 3 5 4 2 7 | 0. 7 2 0 4 1 5 5  |
| 第2主成分 | 0. 7 2 0 4 1 5 5 | -0. 6 9 3 5 4 2 7 |
| 累積寄与率 | 0. 8 5 5 6 0 6 5 | 1                 |

表から、第1主成分ではバンド5/バンド7とバンド4/バンド3が正の値を示すのに対し、第2主成分では植生の特徴を表すバンド4/バンド3が負の値を示し、植生密度の低い地域を示していると考えられる。

上で得られた第2主成分と、バンド5/バンド4とバンド3/バンド1にそれぞれコントラスト強調を施したものとを組み合わせるPCA2画像を作成した(図7)。この場合の色の組み合わせから、粘土変質帯は赤色を発色するが、海洋域および流量の多い河川域も赤色となっている。粘土変質帯の分布する可能性としては、画像右端の河川の屈曲部上方に小さく赤色を呈する部分が挙げられる。また、酸化鉄は緑色を示し、針鉄鉱はさらに青色も強くなるのだが、画像下半分に現れる青みがかった灰色部分がラテライト分布と推定される。一方、画像両端に現れる緑色は、風化により鉄鉱物が析出していると考えられる。

### (3) PCA1画像

(2)で作成したPCA画像の第1主成分を利用して疑似カラー画像を作成し、植生密度分

布を表す画像（PCA1画像）を作成した（図8）。この画像上、暖色系ほど高植生密度を示す。

#### (4) PVI画像

(3)で作成したPCA1画像を利用し、植生の少ないと思われる砂岩地域（図8の枠内）の原データに対し作成した、バンド3とバンド4の2次元データ分布を図9に示す。図9からソイルラインは以下のように求まる。

$$(\text{バンド4}) = 1.21 \times (\text{バンド3}) - 36.42 \quad (\text{i})$$

(i)式をもとに、PVIを求めるため変換式は次の通りである。

$$\text{PVI} = -0.67 \times (\text{バンド3}) + 0.67 \times (\text{バンド4}) \quad (\text{ii})$$

(ii)式で算出されたPVIを用いて、図8と同様に疑似カラー画像（PVI画像）を作成した（図10）。PVI画像と先のPCA1画像を比較してみると、PCA1画像では海洋域も含めて主成分分析を行ったが、2つの画像で植生密度分布の表現に大差がない。ただし、海洋域はPVI画像の方が滑らかに表現されていることがわかる。

## 4. 考察

画像上の岩相識別について、1/250,000の地質図とPCA2画像の対比から推定される項目は以下のようにまとめられる。

・植生：PCA画像、PVI画像から赤色に発色している場所は、PCA2画像では赤紫色を呈する。

・ラテライト：地質図上でCzlと記載される第3紀～第4紀のラテライトは、PCA1およびPVI画像から高密度の植生分布地域と判断され、PCA2画像左端の道路の湾曲部近くに青みがかった灰色が見える以外は、ほとんど期待される色には発色していない。一方、画像下方中央に見られる、Nimbuwah複合岩類(Pxn)の部分の多くは、植生密度も小さく、青みがかった灰色の部分が多く見られる。これは、Nimbuwah複合岩類の地表部分の風化によりレゴリスとなり、針鉄鉱が現れているのではないかとと思われる。

・Kombolgie砂岩：Phk<sub>1</sub>と記載されるKombolgie砂岩は植生密度が小さく、PCA2画像では灰色と緑色に発色している。この緑色はKombolgie砂岩表面に析出した赤鉄鉱の色を反映しているものと思われる。

・Oenpelliドレライト：Pdoと記載されるOenpelliドレライトはPCA2画像では、青みがかった灰色または緑色を呈する。

・石英質砂岩および未固結堆積物：Kbmと記載される石英質砂岩およびCzsと記載される未固結堆積物は、PCA画像およびPVI画像で赤色を呈しており、露頭部分は少ないものと思われる。

・河川性沖積物：Qaと記載される河川性沖積物は、PCA画像およびPVI画像で植生密度が少ないことが示され、PCA2画像ではラテライトと同じ青紫色を呈する。

・海洋性沖積物：Qcと記載される海洋性沖積物は、PCA画像およびPVI画像で植生密度が高く示されており、また、PCA2画像では暗黒赤色を呈する。



## 5. まとめ

平成8年度から本格的に地質調査の始まるオーストラリア・キングリバー地域に対し、その予備調査としてのTM画像の作成を行った。ラテライト分布域の抽出および植生密度についてある程度の予備知識が得られるようになったが、今回の処理手法の有効性については、今後の現地調査の結果を踏まえる必要がある。

## 6. GIS データベース

作成したこれらの画像は、鉱床解析室が進めている地理情報システム(GIS)利用の一環として、GISソフトウェアであるArcViewのデータベース<sup>6)</sup>として入力を行った(図11)。図中、リニアメントなどの構造や岩相の区分は、今回作成したフォールスカラー画像から判読したものである。また、画像中央に上描きした物理探査データは、1991年に取得した空中磁気探査データである。

## 7. 今後の方針

オーストラリア法人シドニー事務所の協力により平成8年度の地質調査で、今回の手法による処理でラテライトが抽出できるか、また、その他の岩相区分が行えるか検討する予定である。

また、作成した画像は随時GISデータベースとして保存していく予定である。

## 8. 参考文献

- 1)Exploration Research News 3, CSIRO Division of Exploration Geoscience(1990)
- 2)Nevin L.Miller and Christopher D. Elvidge : The iron absorption index : A comparizon of ratio-based and baseline-based techniques for the mapping of iron oxides, Remote Sensing for Exploration Geology CA, pp405-415 (1985)
- 3)平成3年度資源衛星データ解析技術開発調査報告書：金属鉱業事業団，資源観測解析センター，pp107-147 (1992)
- 4)Richardson, A. J. and Wiegand, C. L. : Distinguishing vegetation from soil background information, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 13, pp179-184 (1977)
- 5)Alligator Rivers Uranium Field 1:250000, BMR (1990)
- 6)高橋修：GISを利用したウラン資源ポテンシャル解析の試み，資源地質，Vol. 46(2), pp63-72 (1996)

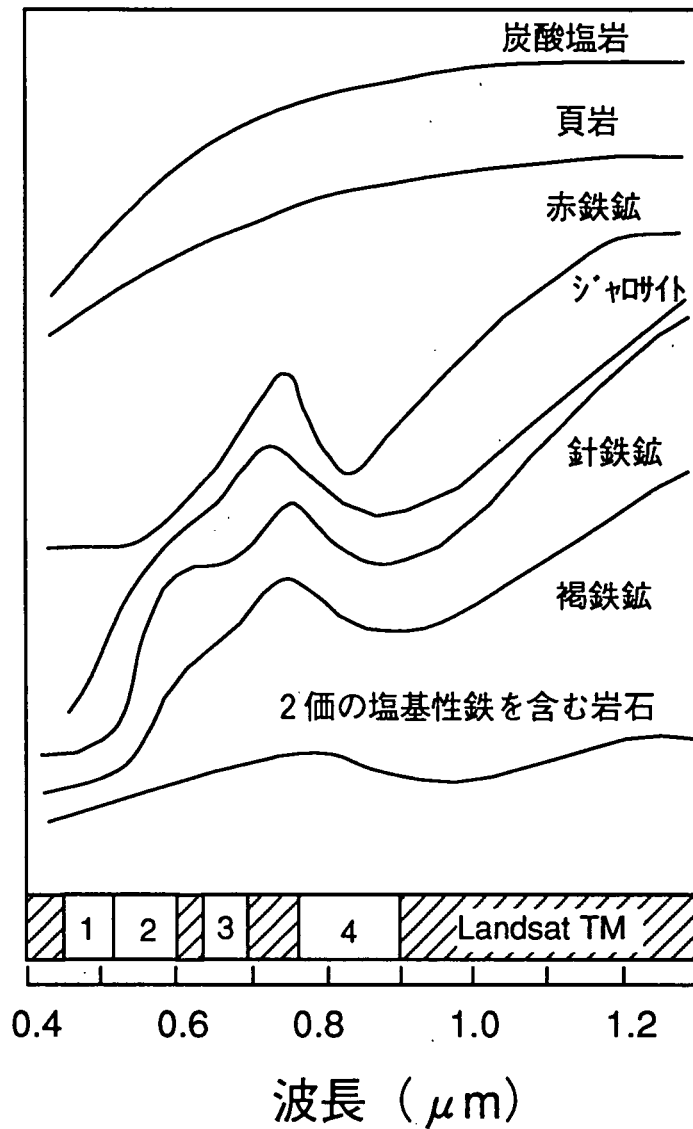


図 1 可視光および近赤外域における酸化鉄鉱物の吸収スペクトル

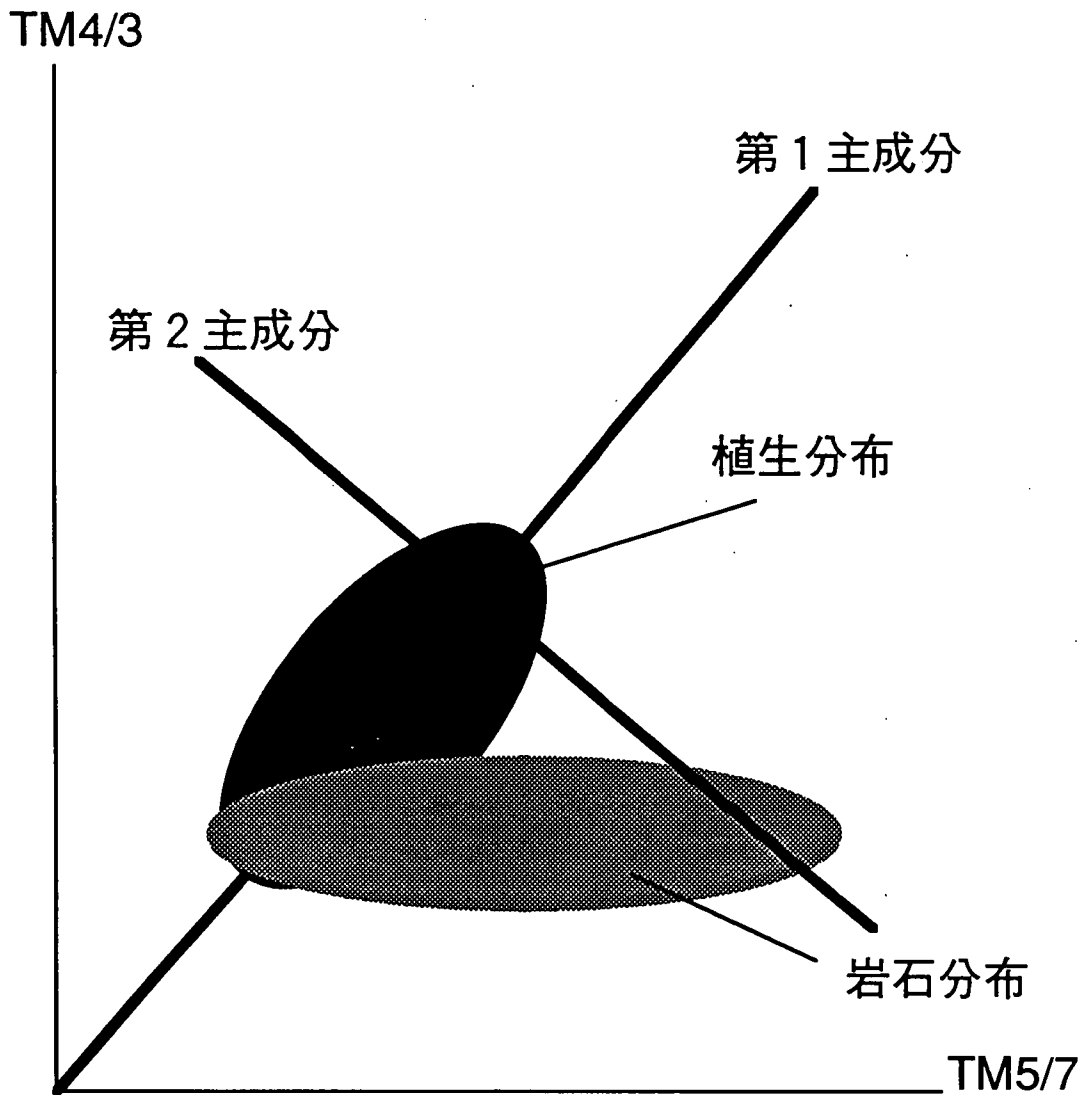


図2 主成分分析の概念

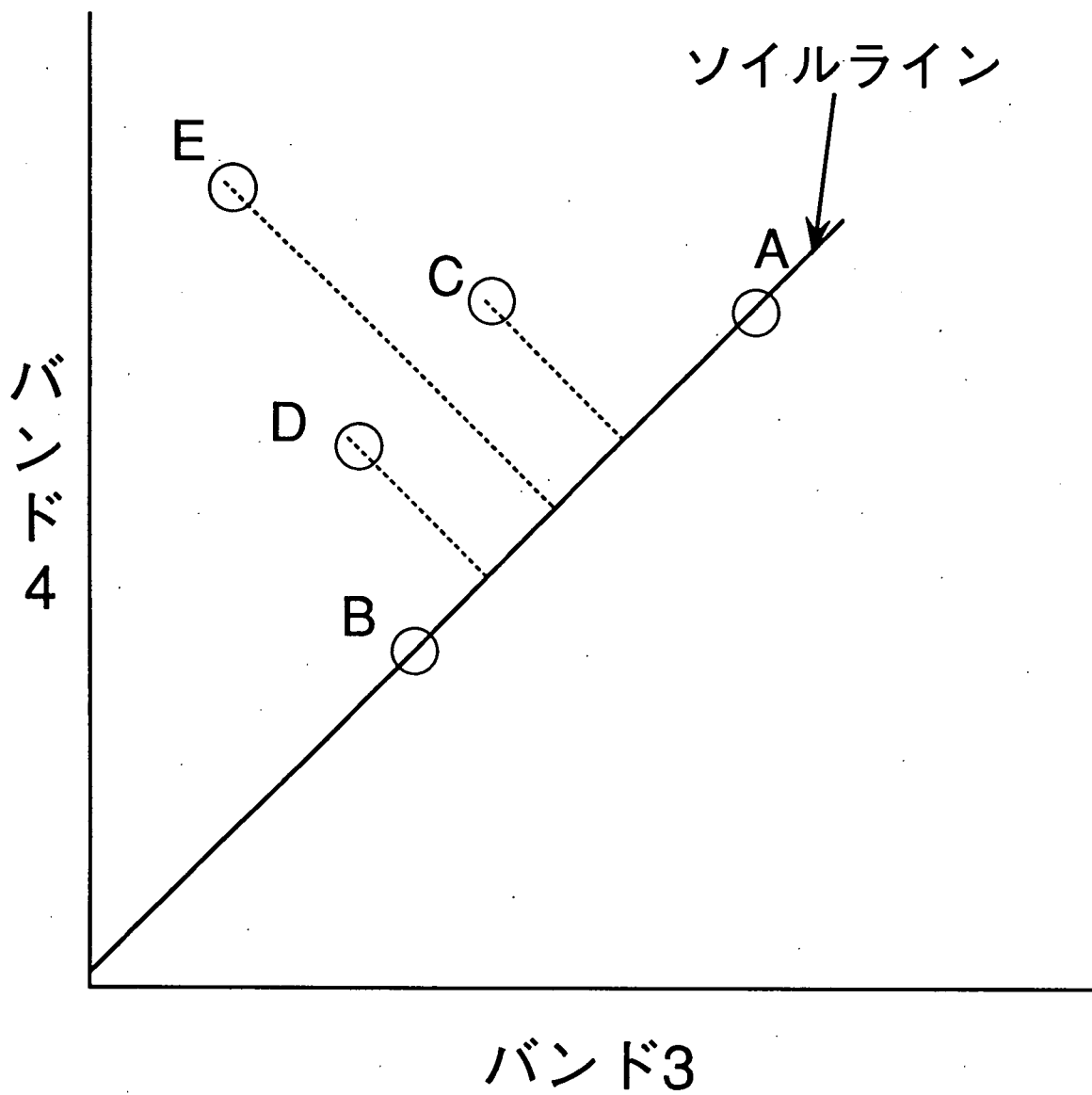











図3 ソイルラインの概念

(点A:乾燥した露岩場所

点B:湿った露岩場所

点C,D,E植生密度の異なる場所)

-  河川性沖積物：(Qa)
-  海洋性沖積物：(Qc)
-  未固結堆積物：(Czs)
-  ラテライト：(Czl)
-  レゴリス
-  石英質砂岩：(Kbm)
-  Kombolgie 砂岩：(Phk<sub>1</sub>)
-  Oenpelli ドレライト：(Pdo)
-  Nimbuwah 複合岩類：(Pxn)

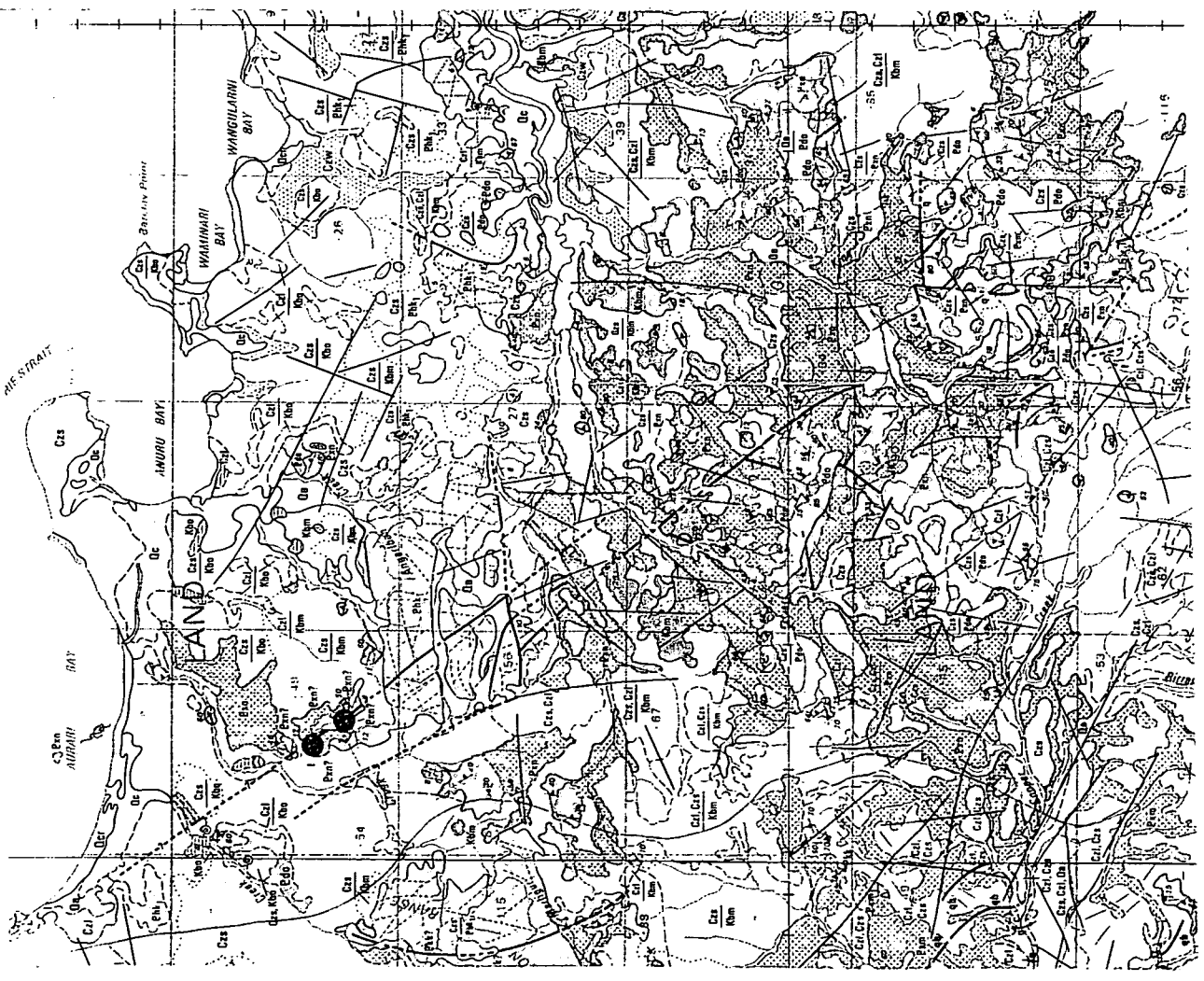
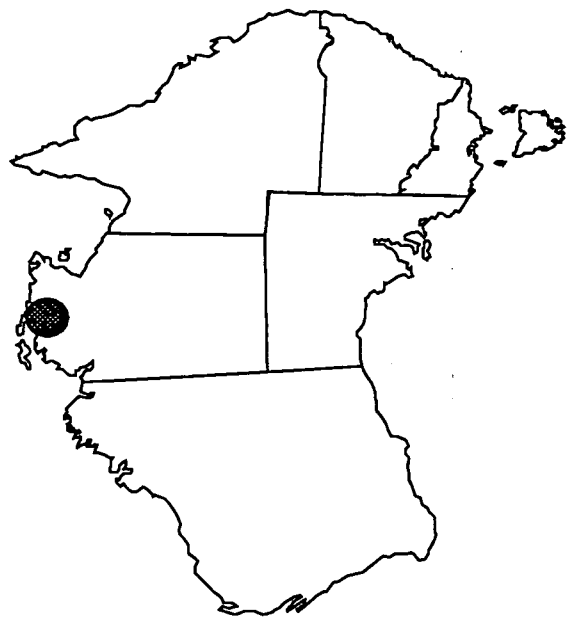
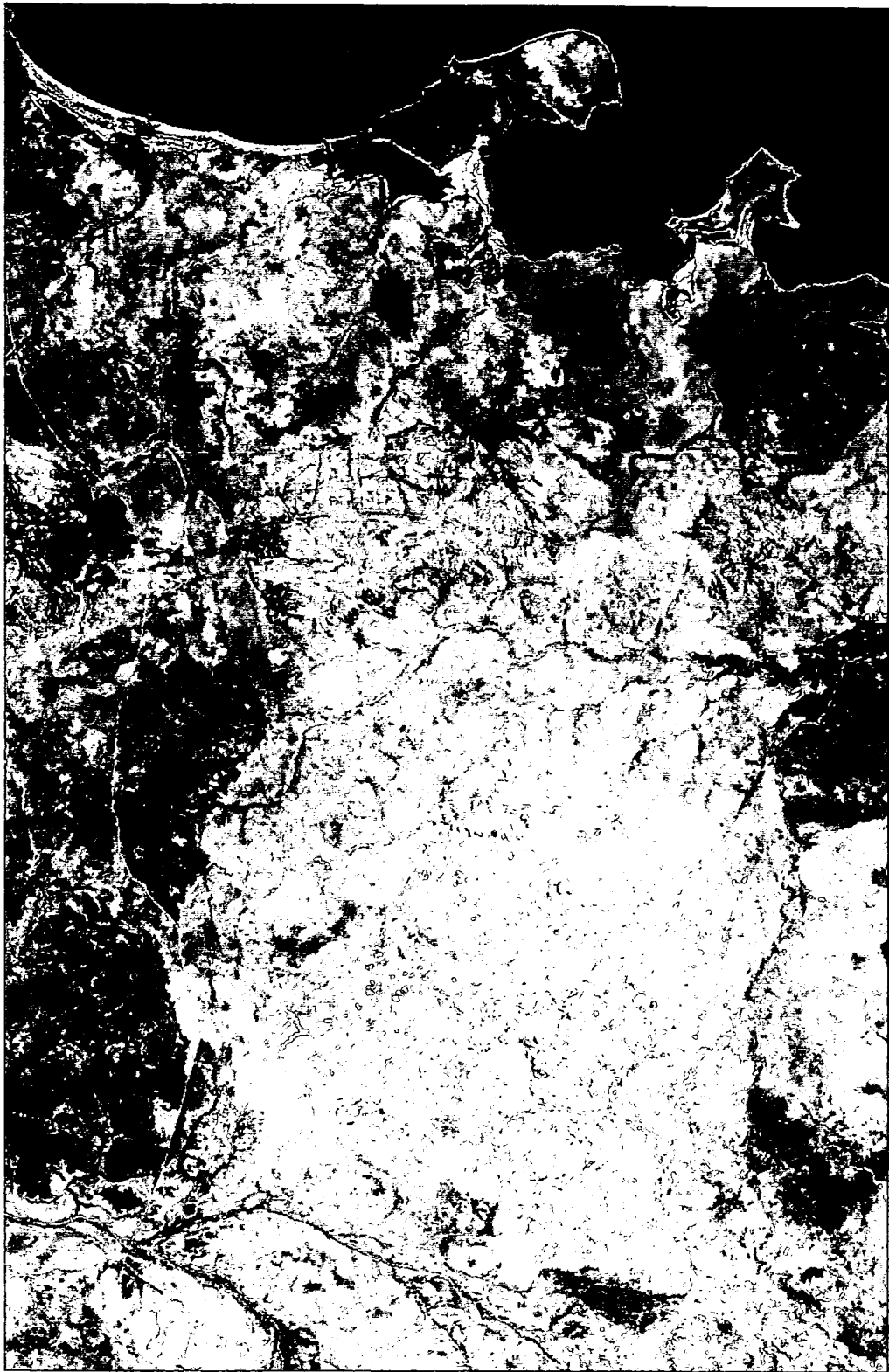


図4 解析対象地域の地質図



0 10 20 Km

図 5 解析対象地域のフォールスカラー画像  
(R:バンド4,G:バンド3,B:バンド2)

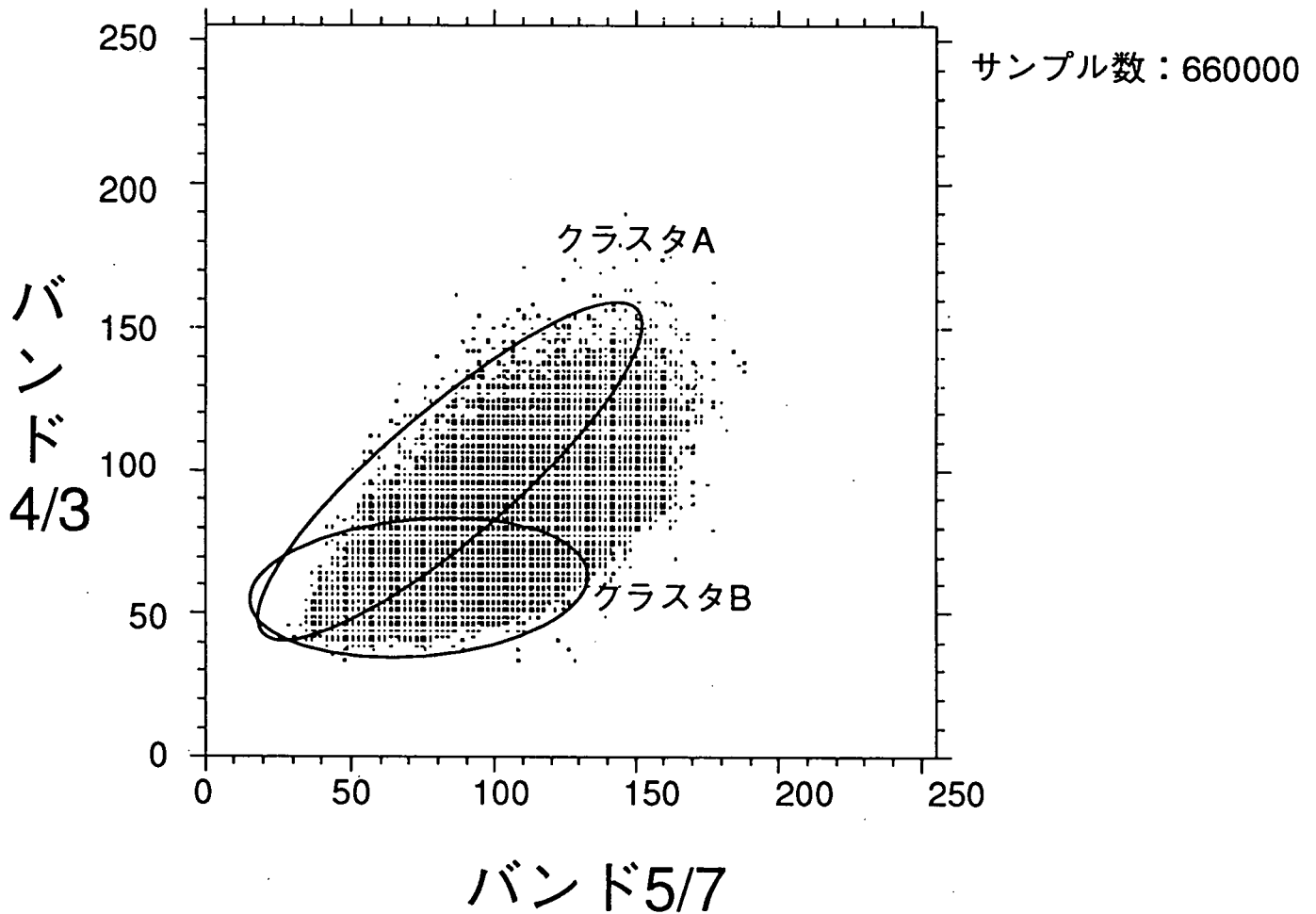
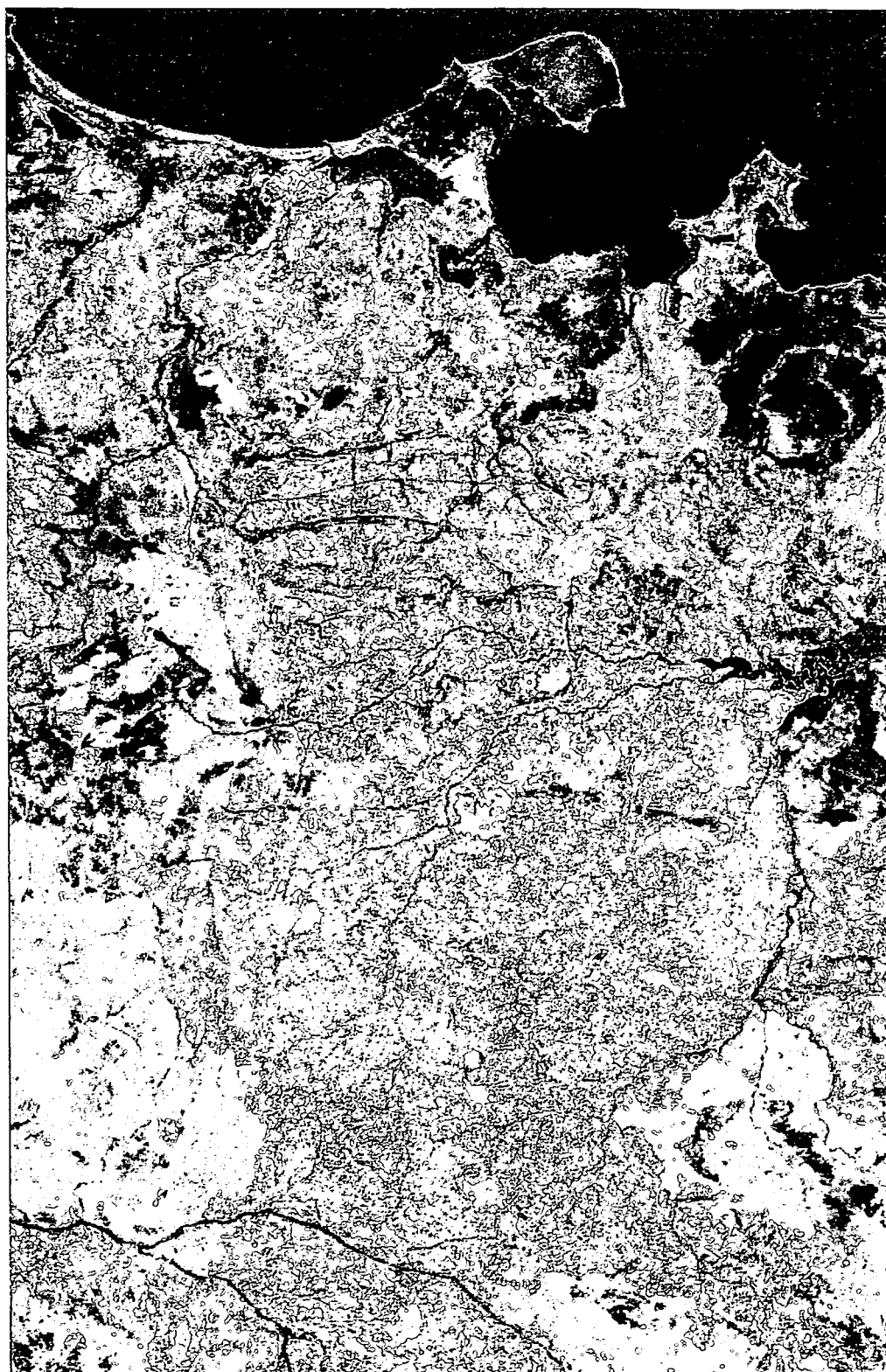


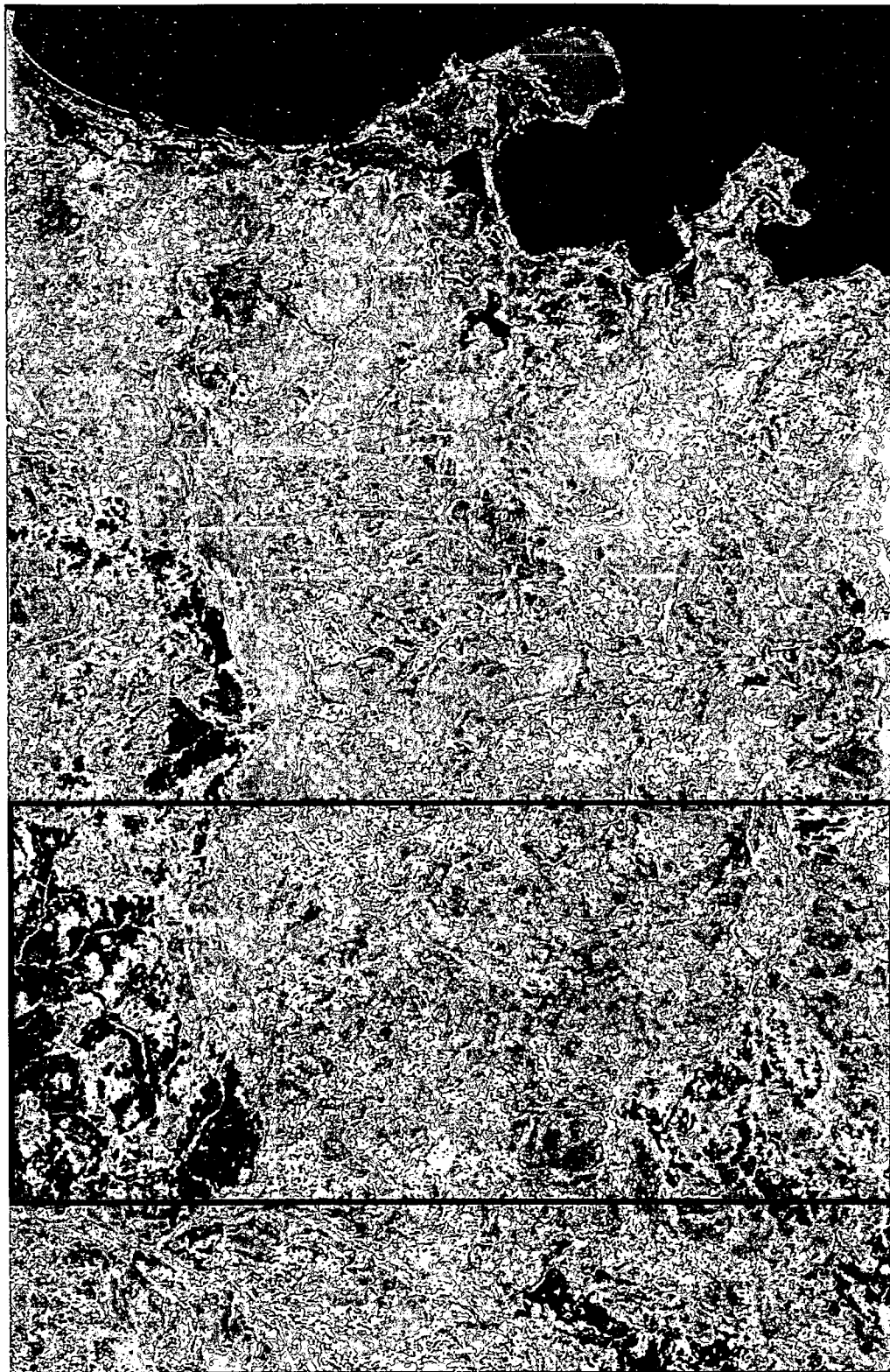
図6 バンド5/7とバンド4/3の2次元データ分布



0 10 20 Km

図7 解析対象地域のPCA2画像  
(R:PCA2,G:5/4,B:3/1)





0 10 20 Km

低← 植生密度 →高

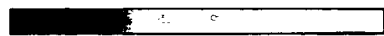


図 8 解析対象地域のPCA1画像

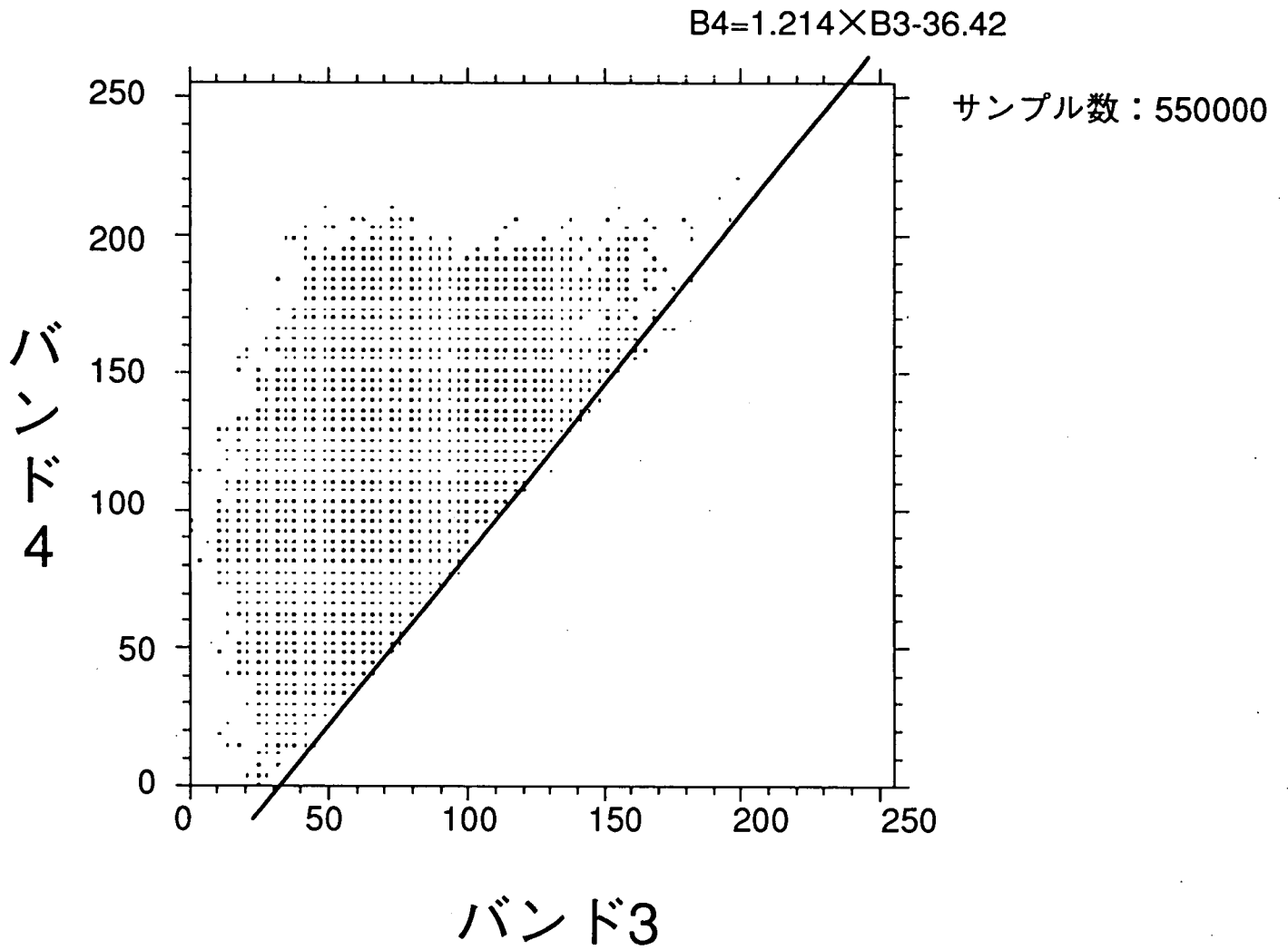
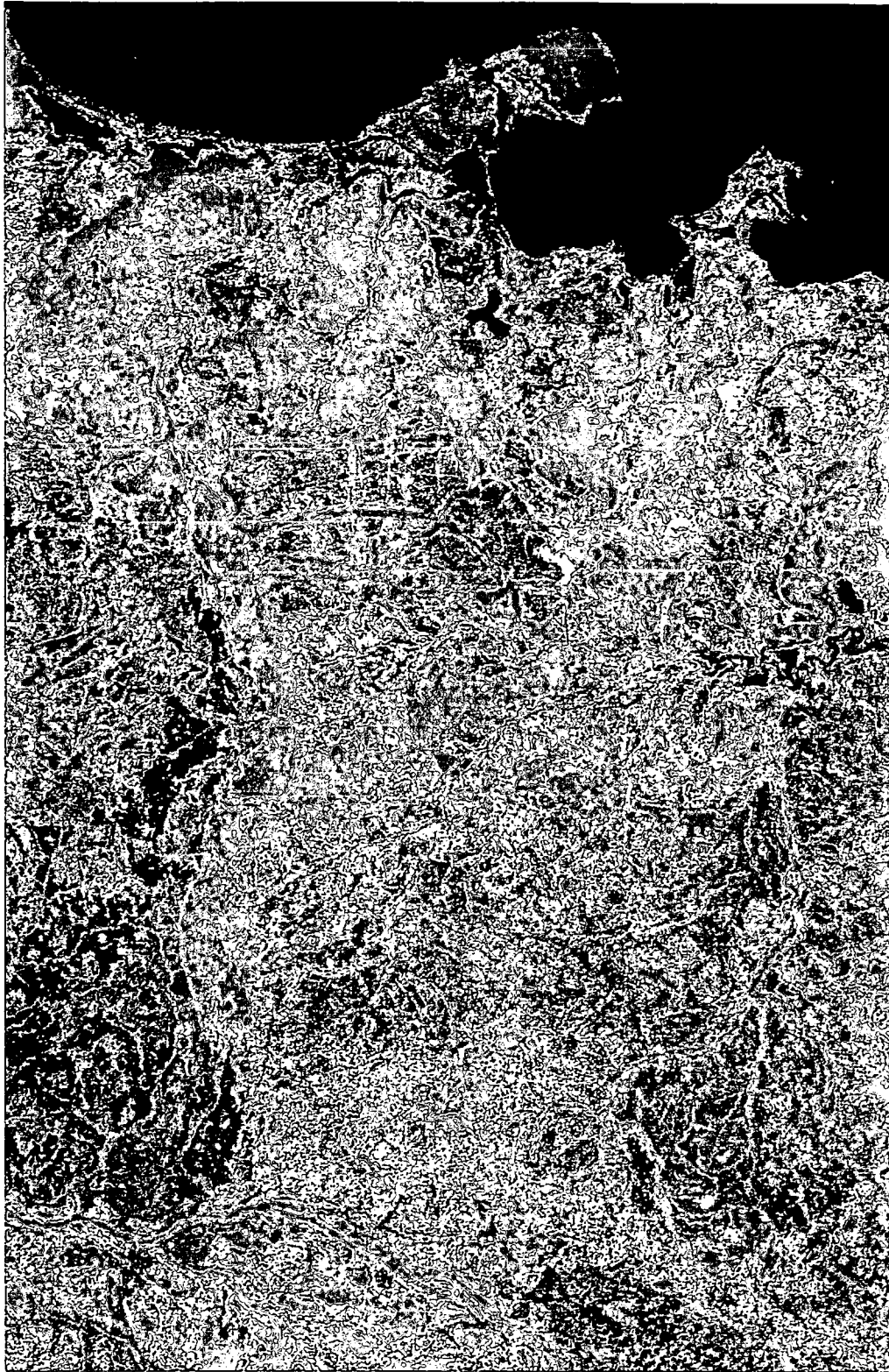


図9 バンド3とバンド4の2次元データ分布



0 10 20 Km

低← 植生密度 →高

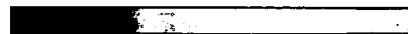
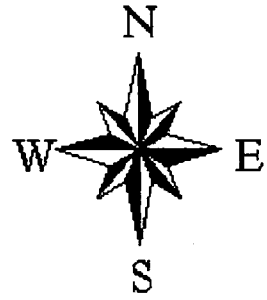


図 1 0 解析対象地域のPVI 画像



∧ RIVER

10 0 10 Kilometers

A horizontal scale bar with three segments. The first segment on the left is labeled '10', the middle segment is labeled '0', and the second segment on the right is labeled '10 Kilometers'.

图 1 1 ArcView出力例

## A-5 東濃地域の地質と環境放射線の関連性に関する研究

## 1. はじめに

原子力安全委員会の策定した国の環境放射能安全研究年次計画（平成3～7年度）においては、研究分野の一つとして環境放射線による国民線量評価に関する研究が挙げられており、一般公衆が生活環境における天然放射性核種を含む各種放射線源について、国土全般についてその強度分布や特性の把握が重要となっている。

東濃地科学センター技術開発課ではこの計画に基づき、「地質と環境放射線の関連性に関する研究」を平成2年度より実施している。

平成7年度においては、西濃北部地区に関するデータを吸収線量率へ換算した後、平成5年度に実施した「西濃南部におけるカーボン測定データの吸収線量率換算」データと合わせて本地域における地質と環境放射線の関連性を明らかにした。

本年報ではその成果の概要について報告する。成果の詳細は報告書「西濃地域における地質と環境放射線量の関連性評価（PNC TJ7409 96-001）（株）ペスコ契約業務報告書」にまとめられている。

## 2. 作業の手順

作業にあたっては、以下に示す手順で行った。

### (1) カーボン測定データの吸収線量率換算の実施

過去のカーボン測定データ（旧チャート、cpm 単位表示）をもとに国民線量評価に必要な吸収線量率単位（nGy/h）換算を行い、新チャートを作成した。

### (2) ルート別地質と測定値の対比及び評価

上記の新チャートの線量率と過去のカーボンルートマップ及び旧チャートに記載されているルート沿いの地質情報と本地域に関連する既刊行の地質図、地質文献・資料等を使用して対象地域全体の地質状況を把握するとともに、ルート別地質解析及び地質と環境放射線との関連性の検討を行った。地質図は数種の地質図を検討した結果に基づき、主に地質調査所発行（平成4年3月27日）の1/20万地質図『岐阜』の記載に従った。

### (3) 環境放射線量率図（新カーボンルートマップ）の作成

全西濃地域 対象面積 1,000km<sup>2</sup>、延べ測定距離 633km

ルートNo.1～No.117

### (4) 地質と放射線量値との関連性の検討・評価

上記(1)～(3)及び平成5年度に既に同様に作業を実施した西濃南部地区のデータを基に、全西濃地域について線量率強度と地質との関連性について対比検討・評価を行った。

### 3. 西濃地域の地質・岩石の露頭写真撮影

地質と環境放射線の関連を検討するに当たり、また本検討結果についての理解を容易にするため、西濃地域地質図の凡例に表示されている地質・岩石露頭の写真撮影を行った。

撮影箇所は31ヶ所で地質調査所発行の1/20万地質図によれば、美濃帯の舟伏山及び坂本峠ユニットに属する石灰岩、玄武岩質緑色岩、泥質混在岩、久瀬ユニットに属する石灰岩、泥質混在岩、左門岳ユニットに属する珪質泥岩、砂岩、那比・上麻生及び金山ユニットに属するチャート、砂岩泥岩互層、砂岩、泥質混在岩及び白亜紀中葉-後期貫入の貝月山花崗岩、前-中期中新世貫入の能郷白山花崗閃緑岩と判断される露頭の写真である。

表-1 地質露頭写真説明(例)

| No.  | 撮影場所  | 地質・岩石の説明                          | 1cm線量率<br>( $\mu$ Sv/h) |
|------|---|-----------------------------------|-------------------------|
| 02-1 | カーボーンルートNo.114<br>岐阜県本巣郡根尾村水鳥谷<br>の入口近傍<br>露頭全景 | 美濃帯那比・上麻生及び金山ユ<br>ニットに属するチャート(Nc) | 0.10                    |



図-1 地質露頭写真(例)

#### 4. 評価

西濃地域では美濃帯の中・古生層の各ユニット間には明瞭な線量率の差はないが、地層（岩種）間で比較すると粘板岩（泥岩）や砂岩のグループと、チャート、石灰岩、玄武岩類（緑色岩）のグループとの間に線量率の明瞭な差があることが明らかとなった。すなわち、前者が高めの値を示し、後者は低めの値を示す。また花崗岩類では、貝月山花崗岩は全般的に高い線量率を示すが、能郷白山花崗閃緑岩は低めの線量率を示すことが明らかとなった。

さらに、東濃地域の線量率と比較すると量地域の美濃帯の中・古生層の粘板岩を主とする泥質岩の線量率に明瞭な差がないこと、西濃地域の貝月山花崗岩は東濃地域の伊奈川花崗岩とほぼ同じレベルの線量率を示す岩体（苗木・上松型花崗岩）が認められること、西濃地域の能郷白山花崗閃緑岩は東濃地域の花崗岩類より低い線量率を示すことが明らかとなった。

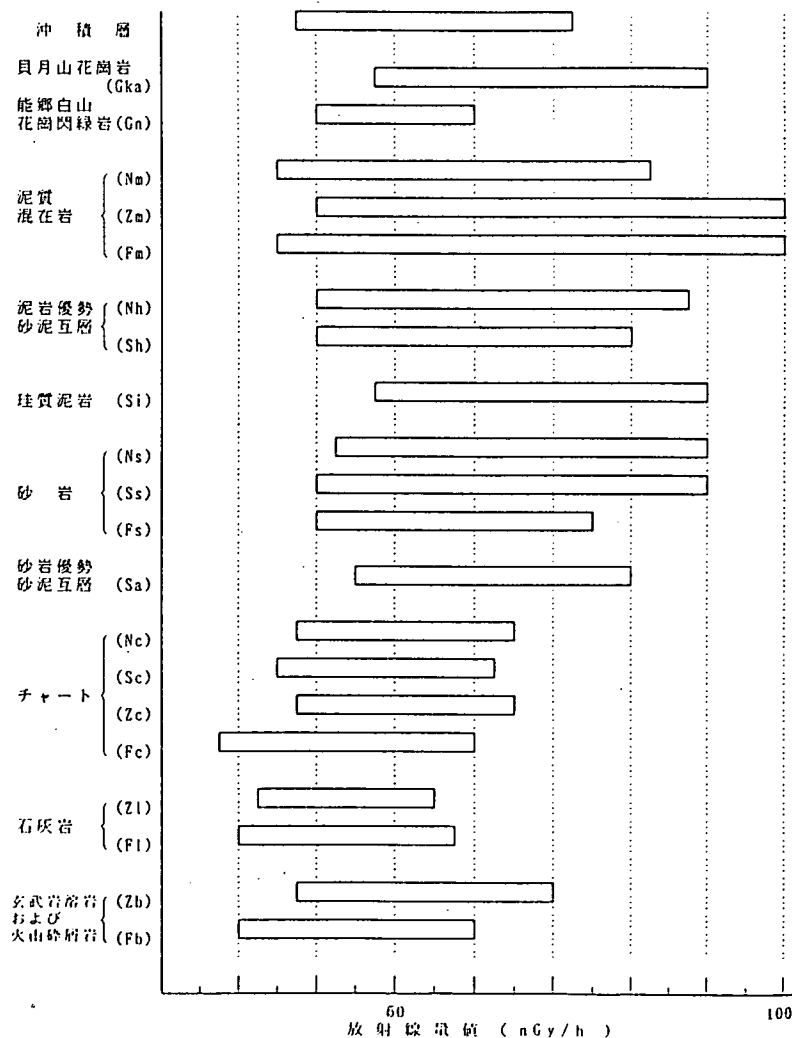


図-2 地質と吸収線量率分布（岩種別）



<参考文献>

- 1) 日本の地質『中部地方Ⅱ』編集委員会編(1988)：日本の地質5 中部地方Ⅱ  
共立出版
- 2) 地質調査所(平成4年)：1/20万地質図(岐阜)
- 3) 地質調査所(平成3年)：1/5万地質図(谷くみ)

## A-6 放射線防護採鉱技術開発に関する研究

## 1. はじめに

ウランの娘核種であるラドンは不活性気体であり、物質と化学的反応を起こすことがないため比較的容易に物質中を移動することができる。<sup>1)</sup>そのため、ウラン鉱山の坑道壁面のみならず一般環境中においては  $^{226}\text{Ra}$  を含有する土壌や壁面などからは相当量が散逸している。その後ラドンは順次娘核種を生成し、その多くは空気中に浮遊する超微粒子（エアロゾル）に付着し坑道内空間に浮遊し、作業員及び一般公衆の内部被ばくの主要因となっている。従ってこのラドン及びその娘核種を正確に測定評価する技術が必要である。

本報では、国際放射線防護委員会（ICRP）が1995年に勧告した Publication 65『家庭と職場におけるラドン-222に対する防護』の概要と東濃鉱山内外におけるラドン平衡係数の測定概要について報告する。

## 2. 『家庭と職場におけるラドン-222に対する防護』の概要

本勧告でICRPは、鉱山労働者の疫学調査に基づき、ラドン娘核種による作業員の慢性被ばくのデトリメントを  $\text{mJhm}^{-3}$  当たり  $8.0 \times 10^{-5}$ （呼吸率として  $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$  を用いている）とした。公衆については、得られた作業員に対するデトリメントと同じ値を用いることに決定している。この値と Pub. 60 による実効線量単位（mSv）当たりのデトリメント（一般公衆に対して  $7.3 \times 10^{-5}$ 、作業員に対して  $5.6 \times 10^{-5}$ ）との比較により、単位被ばく当たりの実効線量を、一般公衆に対して  $1 \text{ WLM} = 4 \text{ mSv}$ 、作業員に対して  $1 \text{ WLM} = 5 \text{ mSv}$  と決定した。（住居で  $7,000 \text{ h}/\text{年}$ （居住係数 0.8）、職場で  $2,000 \text{ h}/\text{年}$  という居住時間を仮定することにより計算されている。）

これを根拠として、また諸外国のBGとなるラドン濃度のレベルを考慮して、鉱山などの特殊な環境を除き（鉱山については Pub. 47 がまだ有効であるとしている）、対策レベルはラドン濃度に対して一般住居で  $200 \sim 600 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 、作業場で  $500 \sim 1,500 \text{ Bq}/\text{m}^3$ （ともに年実効線量で  $3 \sim 10 \text{ mSv}$ 。ラドンとその娘核種の対象となる空気中の存在比である平衡係数を一律に 0.4 と仮定することにより計算されている）という範囲をもった値を採用している。

これらに基づき、各国が設定した対策レベルよりも、ラドン濃度がかかなり高い場合には直ちに当局は介入するべきであり、かつ適当な対策を講じた後も対策レベル以下に濃度を下げることができないならば、ICRPの放射線防護の体系の適用をその作業場に対して行うよう勧告している。職業上の年被ばく限度については、Pub. 60 に基づいて5年平均で  $20 \text{ mSv}$  に相当する  $4 \text{ WLM}$ 、単一年あたりでは  $50 \text{ mSv}$  に相当する  $10 \text{ WLM}$  を勧告している。

当初のドラフトの段階では一義的に一般住居で  $200 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 、作業場で  $1,000 \text{ Bq}/\text{m}^3$  という値が示されており、勧告が出されるまでに対策レベルに対して多くの議論があったと推定できる。最終的にはある程度の幅を持たせた内容になっている点は評価できる。

しかしながら、ラドンによる被ばくとはICRPも認めているように、その娘核種による被ばくによるものであり、平衡係数を 0.4 と仮定したラドン濃度による規制は、東濃鉱山や人形峠事業所の捨石たい積場及びその周辺等の平衡係数が著しく低い環境でのラドンの取扱において、実際の被ばく量に対して過大な結果となる可能性があり、更にこれまでのラドンの取扱いとの整合性から考えても合理的でない。

例えば、我が国における現行の法律では放射線業務従事者のラドンに対する濃度限度は平衡等価ラドン濃度で  $1,000\text{Bq}/\text{m}^3$  としており、ラドン濃度が  $10,000\text{Bq}/\text{m}^3$  であっても平衡係数が 0.1 であれば許容される。しかし平衡係数を 0.4 と仮定した場合、平衡係数が 0.1 の環境での被ばく量は 4 倍もの過大評価となる。明らかにあらゆる環境で同じようにラドン濃度による規制を行うことは被ばく評価上好ましくない。例えば、被ばく限度については、平衡等価ラドン濃度を示しているが、平衡係数を 0.4 と仮定した場合のラドン濃度も同時に示されており、今後の国内の規制当局の動向を注視しておく必要があると思われる。

### 3. 東濃鉱山内外における平衡係数の測定

上記に示す『家庭と職場におけるラドン-222に対する防護』に対する技術的対応として強制通気を行うことで平衡係数が異なる東濃鉱山坑道内及び坑外における平衡係数を連続して測定した。測定は1箇所につき約1週間の予定で年間を通じて測定する予定であったが、地層科学研究の一つとして実施している釜石鉱山原位置試験場における通気改善対策のために測定器を使用したため、各測定箇所での測定が1回程度となっており、全体を評価解析するまでには至っていない。

#### 3.1 測定原理

測定に使用した機器は独・トレーサーラボ社製 WLM-Plus である。測定器は検出部、データ処理部からなり、簡単に測定場所を移動して空気中のラドン娘核種濃度を測定することができる。

測定器の仕様は以下のとおりである。(図-1)

- ①検出器 : 20mmφシリコン半導体検出器
- ②測定範囲 :  $0.37\text{Bqh}/\text{m}^3$ 以上
- ③流量計レンジ : 30～300 l/h
- ④フィルター : 47mmφ (メンブランフィルター孔径 0.65 μm)
- ⑤フィルター捕集効率 : ダスト径 0.65 μm 以上で 100%
- ⑥計数効率 : 12%
- ⑦検出核種 : Po-218 (ラドン娘核種) 6.00MeV  
Po-214 (ラドン娘核種) 7.68MeV  
Bi-212 (ラドン娘核種) 6.05MeV  
Po-212 (ラドン娘核種) 8.79MeV

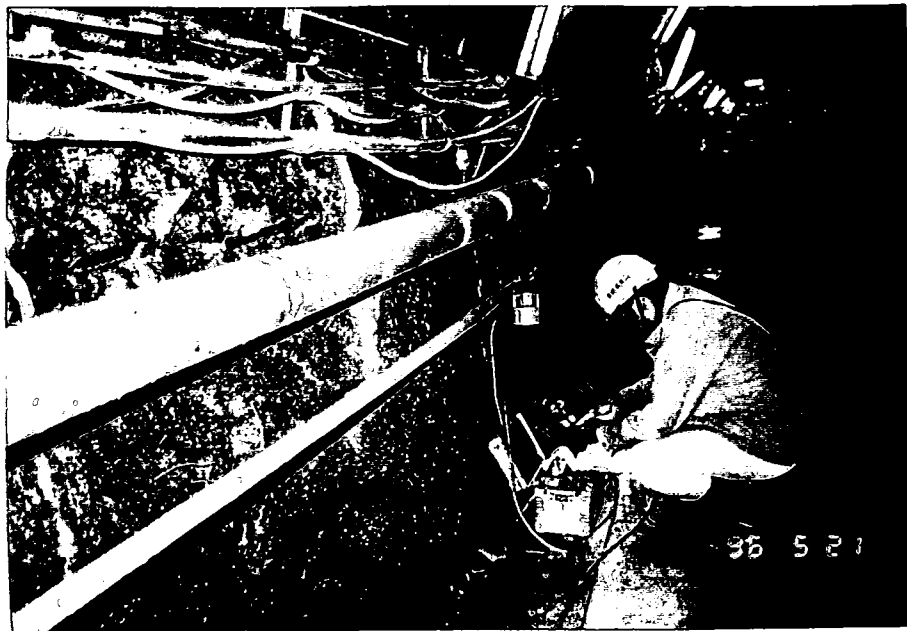


図-1 平衡係数測定（釜石鉱山での測定例）

### 3.2 連続測定

東濃鉱山坑道内における測定箇所を図-2に示す。また坑外については捨石たい積場及び現場事務所前の2か所である。

坑内においては主要扇風機で強制通気24時間実施しており、調査立坑及び第2立坑から入気し通気立坑から排気している。

本報では参考として坑内においては主要ポンプ座前、本延120m及び主要扇風機座前、坑外においては現場事務所前の測定結果を示す。

なお各測定地点の平均値を表-1に示す。

表-1 平衡係数測定結果

| <坑内>        |      | <坑外>   |      |
|-------------|------|--------|------|
| 主要ポンプ座前     | 0.58 | 捨石たい積場 | 0.67 |
| 第2立坑上盤連絡坑道口 | 0.62 | 鉱山事務所前 | 0.82 |
| 本延120m      | 0.20 |        |      |
| 240m北上45m   | 0.10 |        |      |
| 斜坑分岐        | 0.14 |        |      |
| 斜坑底         | 0.20 |        |      |
| 240m北下42m   | 0.23 |        |      |
| 主要扇風機座前     | 0.16 |        |      |
| 第2立坑下盤連絡坑道  | 0.69 |        |      |
| 第2立坑第1計測坑道  | 0.48 |        |      |
| 第2立坑第2計測坑道  | 0.31 |        |      |
| ナトム計測坑道     | 0.44 |        |      |

### 3.3 評価と今後の予定

上記で述べたように測定器を釜石鉱山原位置試験場における通気改善のための連続測定に使用したため、解析評価を行うに十分な結果は得られていない。しかしながら、強制通気を実施している坑内においては平衡係数の範囲も 0.10 ~ 0.69 とかなりの幅をもっている。また坑外においても 0.67、0.82 となっており、あらゆる環境下で 0.4 の平衡係数を適用するとの考え方には合致できない。今後も引き続き平衡係数の測定を実施し、ラドン湧出率や大気安定度、気圧等気象条件との関連性についても検討する予定である。

#### <参考文献>

- 1) 大気中のラドン族と環境放射能：ラドン族調査研究委員会 1985年9月

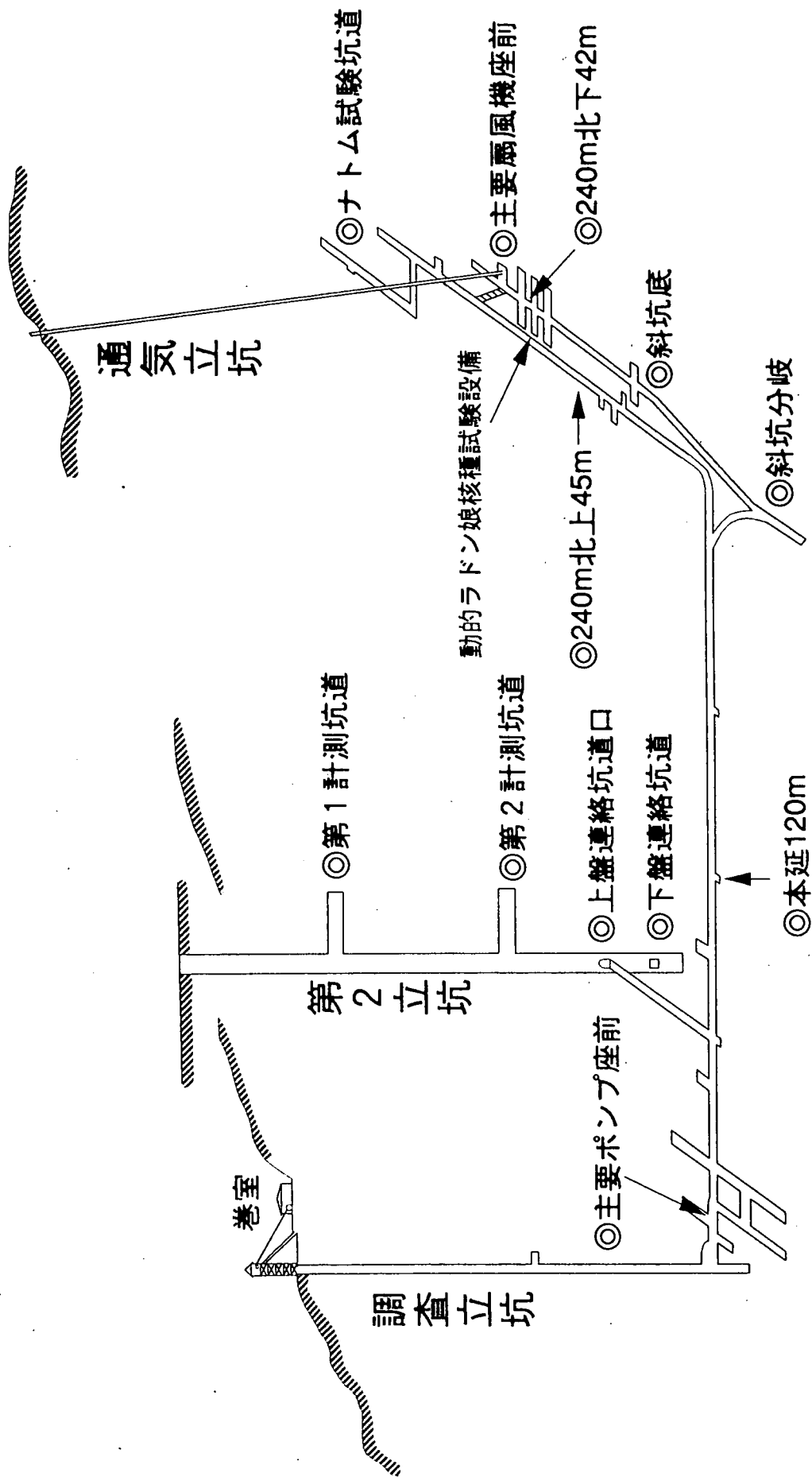
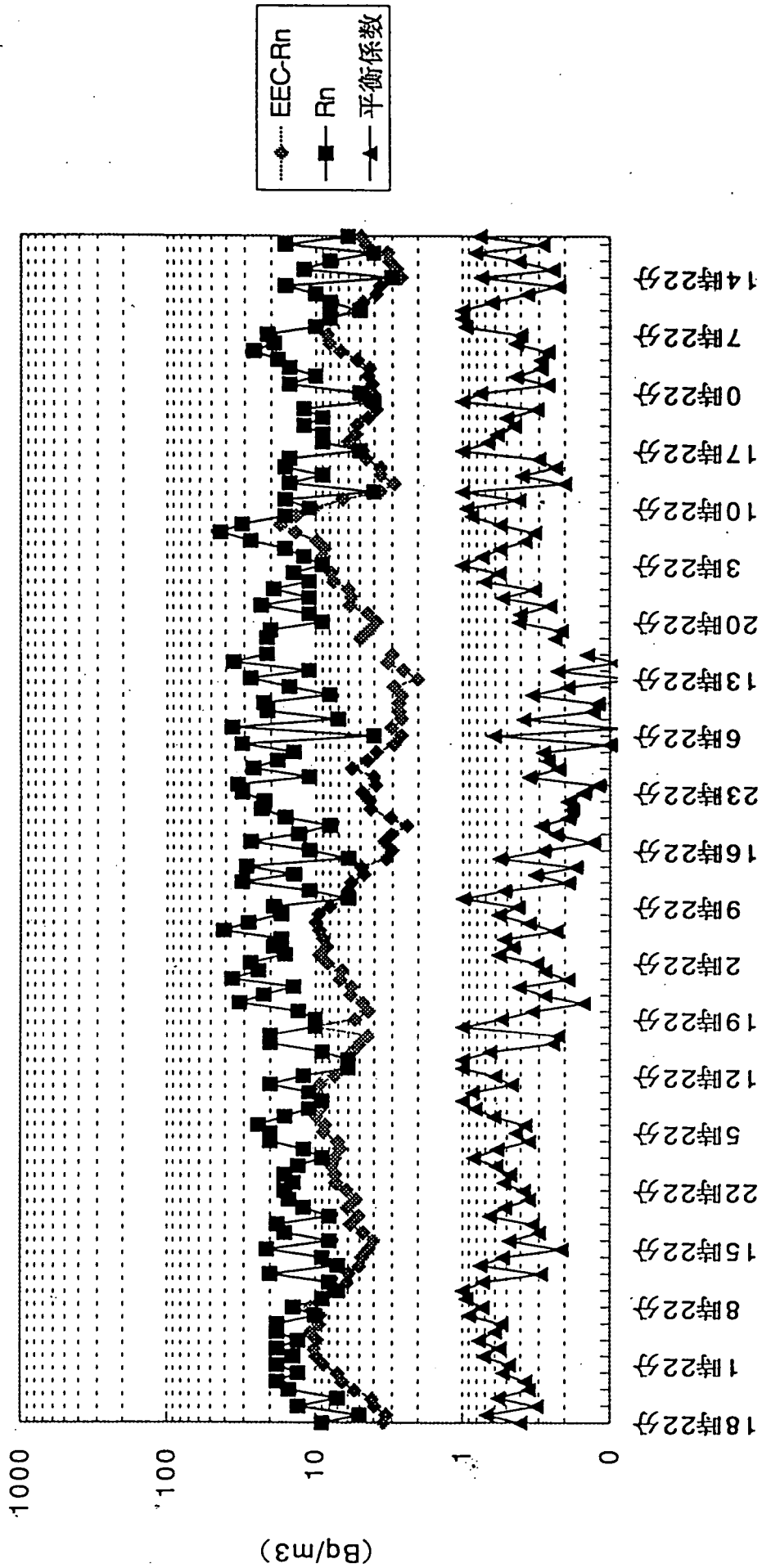


図-2 坑内における平衡係数測定箇所

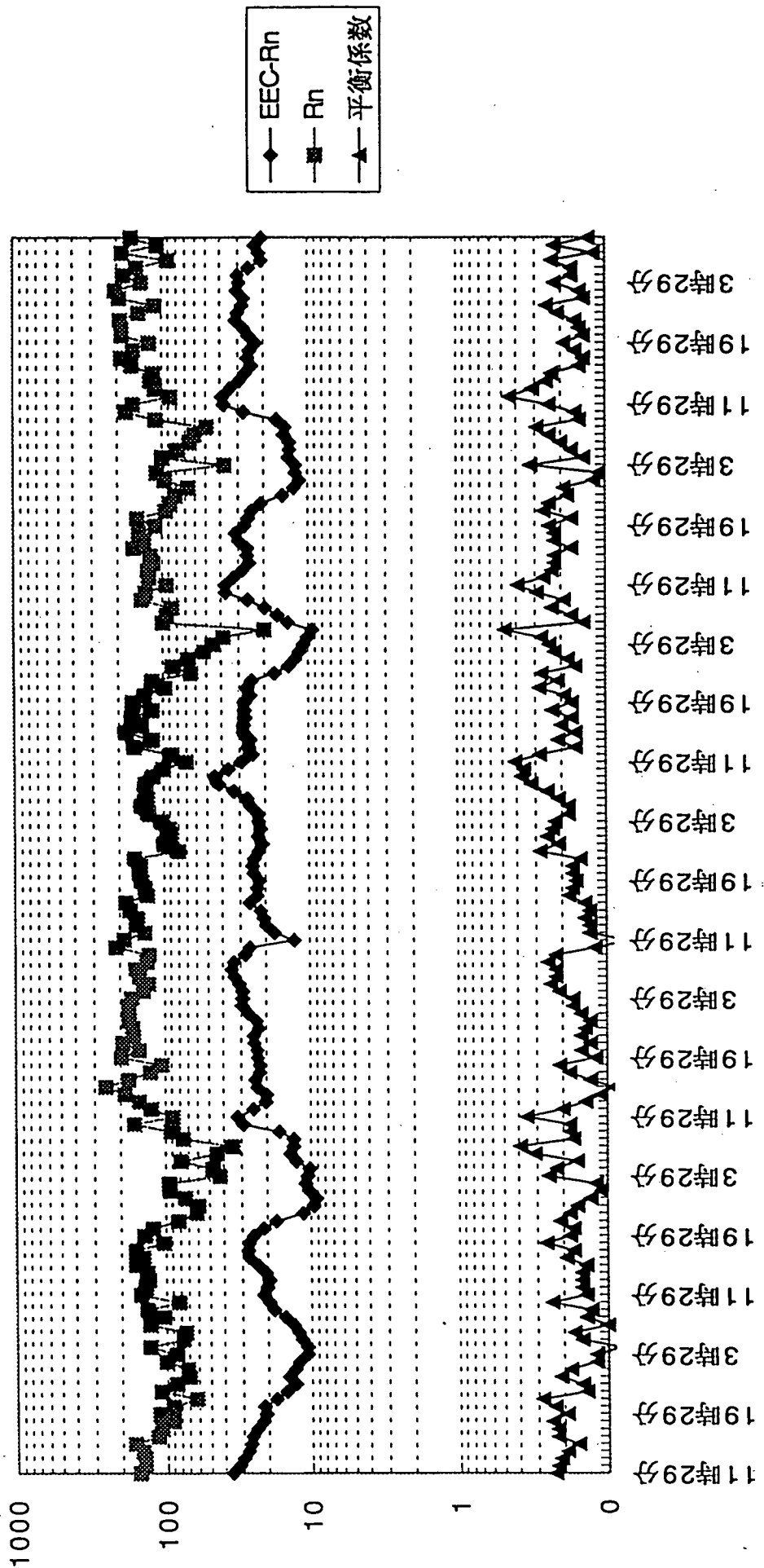
測定箇所 (坑底ポンプ座前)



95/4/28 ~ 5/4

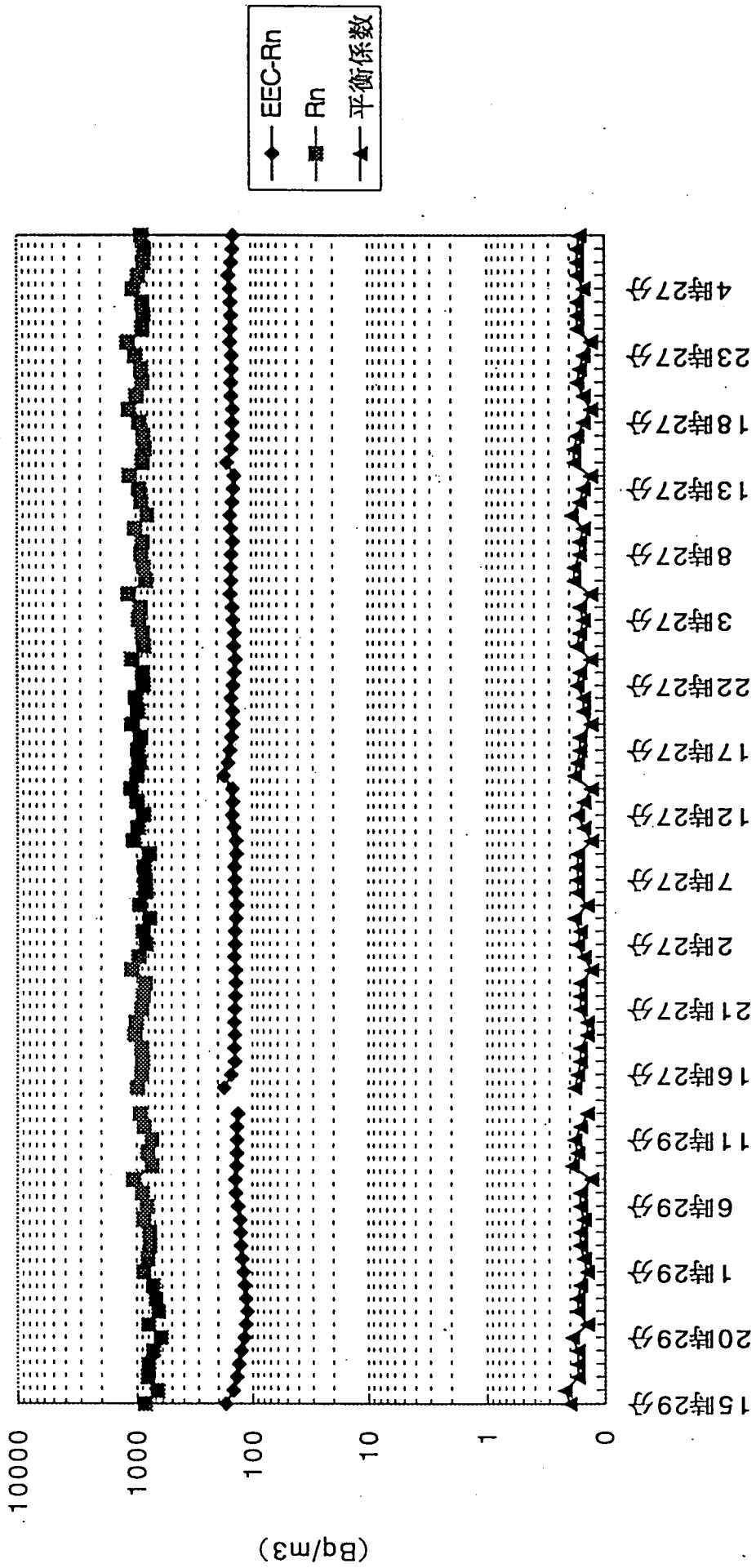


# 測定箇所 (本延120m)

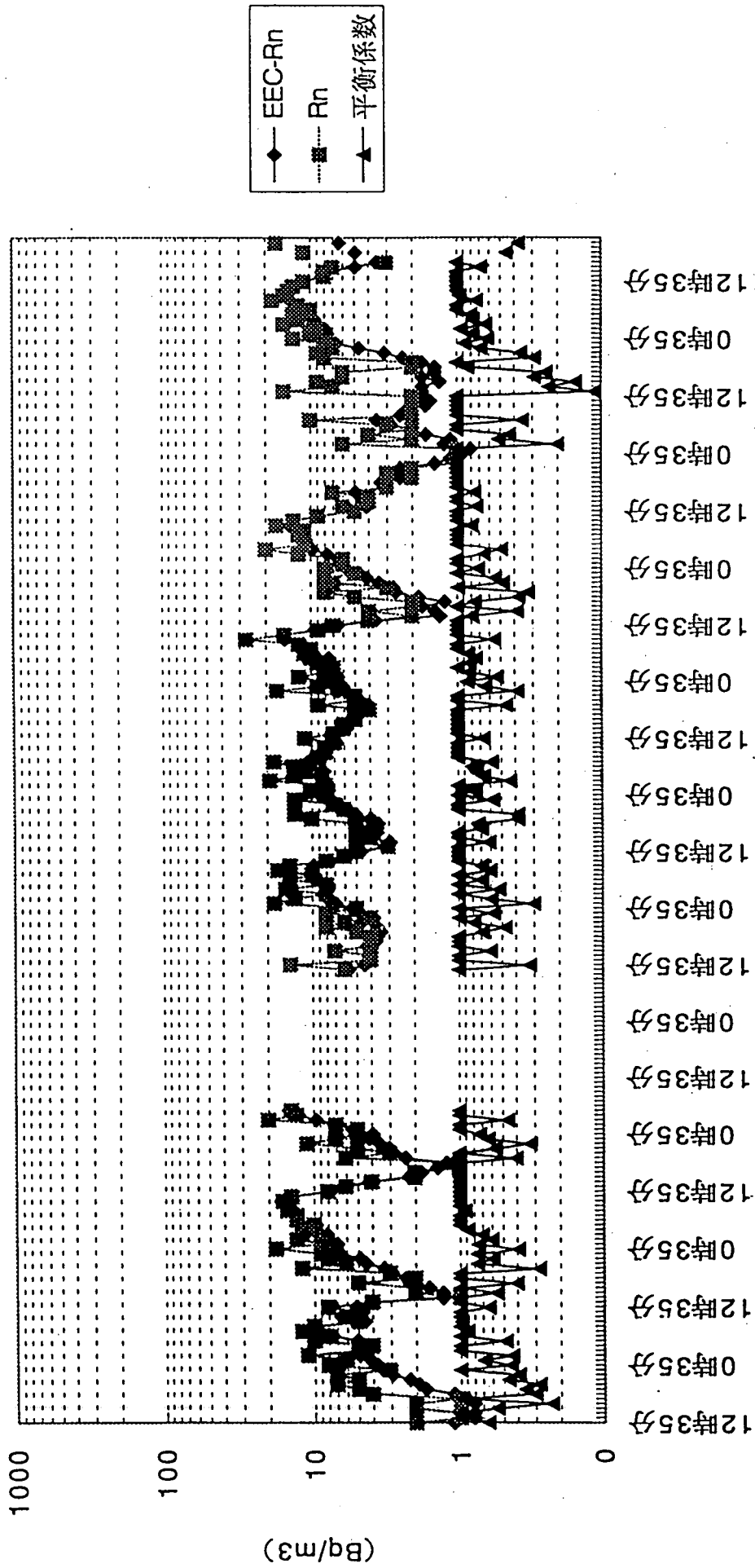


95/5/22 ~ 5/29

測定箇所 (主要扇風機座前)



測定箇所 (鉦山事務所前)



## A-7 ICP-MS情報収集

## 1. はじめに

I C P - M S 質量分析法は高分解能、超高感度、多元素同時分析、迅速性、同位体分析が可能などの利点を持ち様々な試料中の極微量元素分析装置として注目されている。

特に I C P - A E S では得られなかった同位体比の情報が容易に得られる点に特徴がある。東濃地科学センターにおいても地層科学に関する分野の研究が極微量元素を対象とするものが増えて来ることを予想して装置導入時少しでも役立つ情報を収集する必要がある。

ここでは二重収束型質量分析計と四重極質量分析計の一般的相違点について記述し、最後に数は少ないがテスト分析した結果を参考資料として添付する。

## 〔参 考〕

- ・ I C P : Inductively Coupled Plasma 「高周波誘導結合プラズマ」
  - ・ I C P - M S : Mass Spectrometry 「I C P - 質量分析装置」
  - ・ I C P - A E S : Atomic Emission Spectrometry 「I C P - 発光分光分析装置」
- ※通常（プラズマ）の分析ゾーン領域から発せられる光を検出するのが I C P - A E S であり、この領域で生成されるイオンを検出するのが I C P - M S である。

## 2. 二重収束型質量分析計と四重極質量分析計の一般的相違点

## 1) I C P 質量分析装置

I C P で生成されたイオンを検出する質量分析計として、四重極質量分析計または二重収束型質量分析計が一般的に使われる。

- a. 四重極質量分析計を用いた I C P - M S 装置は、大気圧のプラズマで生成したイオンを高真空の質量分析計に導くために3段の差動排気系を用いている。プラズマからイオンを引き込むオリフィスはサンプリングコーンと呼ばれ、銅またはニッケル製が普通である。オリフィスの径は、1~1.5 mm 程度で、初段の真空度は1~3 Torr である。サンプリングコーンを通過したイオンは超高速ジェットの状態となる。イオンがマットディスクを形成してエネルギーの広がりを持つ前にイオンを次の部屋に導くためにスキマーコーンをマッハディスクの中に差し込むように配置する。この初段の部屋は、イオンの進む方向を一様にするために必要である。

2 段目の部屋の真空度は  $10^{-4}$  Torr である。スキマーコーンは、銅またはステンレス鋼で作られる事が多いが、そのオリフィス径は0.7~1 mm 程度で、サンプリングコーンより小さい。スキマーコーンを通り抜けたイオンのうち、正のイオンのみが数段のイオンレンズによって収束され質量分析計の入口へと導かれる。

3 段目の四重極質量分析計が置かれた部屋の真空度は  $10^{-6}$  Torr である。イオン検出部には、チャンネルトロンまたは二次電子増倍管が用いられている。

これらの検出器はイオンと共に紫外光にも感じてしまうのでプラズマからの光が直接検出器に入らない様にイオンレンズの中心軸に光ストッパーを取り付けたり、イオンの軌道を曲げるなどの工夫が施されている。検出されたイオンによって生じたパル

スの数をかぞえることにより（パルスカウント方式）イオン量を定量する。イオンの濃度が高い時にはイオンにより生じる電流値の測定（アナログ方式）に切り換えてダイナミックレンジをカバーしている。最近の装置では、ネブライザーを試料導入法として用いて、1 ppmの溶液を測定すると、 $2 \times 10^7$  cps程度の信号が得られる。

四重極質量分析計の分解能は良くて500程度で、質量数が80以下の元素に対しては、分子イオンによる干渉が大きな問題となる。このような分子イオンによる干渉が大きな問題となる。このような分子イオンによる干渉を除くために、できるだけ水のはいらぬ試料導入法やアルゴンガスの代わりにヘリウムガス、窒素ガス、ミックスガスなどに置き換える方法などが考案されている。分子イオンによる干渉を除くために、感度は犠牲にしても主要でない同位体を選択せざるを得ない場合もある。しかし、発光分析の場合と比べるとその選択の余地は少ない。そこで、質量分析計の分解能を高め、分子イオンと分析目的元素のイオンとを分離する装置も市販されている。

- b. 磁場と電場を組み合わせた二重収束型質量分析計を用いたICP-MSは、サンプリングコーンとスキマーコーンの電位を5~6 kVにして、生成したイオンを加速させ質量分析計に導入する。イオンを加速させてイオンの収束性を良くした点、二重収束型質量分析計の透過率が四重極質量分析計より優れている点、それに、バックグラウンドが小さくなる点により検出限界は大幅に改善されppqレベルに達する。

## 2) 構造による分解能の違い

二重収束型と四重極型の違いは分光器にある。まず二重収束型はセクタータイプとも呼ばれ磁場、電場でイオン化された元素イオン、分子イオンの分離を二重に行う。ICP部で生成されたイオンは、特殊なインターフェースを通過後5~6 kVで加速され磁場部へ入り、この磁場部では磁場強度を調節することにより目的元素イオンを中心に扇状に低質量から高質量へと展開され、この時分子イオンは妨害イオンであり出来る限りの排除が必要となる。そこで次の電場にこれらのイオンを送り込む前にスリットにより相当量の妨害イオンを排除するが、それでも目的元素イオンと妨害イオンである分子イオンが混在しているので、次の電場部ではこれら混在しているイオンをエネルギーの差により分離し目的イオンだけを検出部に送り込む、このような性能を備えているため目的元素イオンだけの定性分析、定量分析ができる。

これに対し四重極型はインターフェース通過後、直流電流及び高周波電流をかけられた四つのポール（対になる二組のポール）だけでイオン分離を行うため、整数域での元素イオン分離は出来るが、同質量数の目的元素イオンと妨害イオンである分子イオンの分離はほとんど出来ない。このような装置の根本的な違いにより、二重収束型の分解能は12000だが四重極型ICP-MSは2M（目的イオン質量数の2倍）である。この分解能の差は定性分析、定量分析に大きく関与する様である。しかし極最近イオンレンズ部を90度偏向レンズに改良したことで、イオン透過率向上、不要なプラズマの光、中性粒子の除去が大幅に改善されたことで、感度も従来に比べ5倍となっている装置もある。

### 3) 二重収束型質量分析装置の現状での問題点

二重収束型質量分析計は研究段階を越えて既に十分に実用段階にまで達しているといえる。しかし同時にまだ改良すべき点も多く含んでいる。

まず第一にスキャンニング速度が四重極型に比較すると大幅に遅いことにある。これは単に分析速度の低下にとどまらず内標準法による感度変動の補正が十分に機能せず、分析精度の低下にも直接つながる大きな欠点となっている。磁場のスキャンニングであるので四重極型の装置と同じ速度を期待するのは無理であろうが、より高速化を図るとともに装置の長時間の安定性にも一段と配慮する必要がある。

第二はレンズ系のチューニングの複雑さにある。数多くのダイヤルを操作することを要求されるのに加えて、どのようなシグナルが得られたときに最もイオンビームが最小に絞りこまれたかの判定にもかなりの経験を必要とする。更にチューニングの設定値の再現性も決して高くはない。

最後に、装置の操作とデータ処理用に用意されているプログラムも現時点ではとても「ユーザーフレンドリー」であるとは言えない。

### 3. 考 察

二重収束型質量分析計は、検出限度、分解能を見た限りでは抜群に優れた特徴があることは判明したが問題点も多い。ルーチン性を重視するのであれば四重極質量分析計である、いずれにしる使用目的に合った装置を選ぶことが肝要である。

(比較分析について)

今回のテスト分析は四重極質量分析計と二重収束型質量分析計での測定値に明らかな違いが現れるかいなかを調べるために実施した。分析実施に当たっては、1) 岩石試料の分解法等は指定しなかった。理由：分解法によって分析値が大きく影響する。2) 高質量域での分析を行った。理由：希土類分析について東濃地科学センターでの分析経験がなく今後興味深い分野である。

結論：四重極質量分析計と二重収束型質量分析計での分析値に明瞭な差異は認められなかった。今後は、試料件数を増やすことと、軽元素（イオン干渉の多い元素）についても検討する必要がある。

| その他                | 二重収束型質量分析装置 | 四重極型質量分析装置      |
|--------------------|-------------|-----------------|
| ・ 価 格              | 約 1億数千万     | 約 4千万           |
| ・ 建 屋              | クリーンルーム 必要  | クリーンルーム 不要      |
| ・ 設 備 (スペース)       | 大型 5m × 5m  | 小型 1.8m × 0.74m |
| ・ 保守点検             | 専門的知識 必要    | 専門的知識 不要        |
| ・ 測定技術<br>(操作技術)   | 経験 必要       | 誰でも測れる          |
| ・ 高周波利用設備<br>申請の有無 | 電気通信監理局 有り  | 電気通信監理局 有り      |

# 二重収束型質量分析計と四重極質量分析計の検出限界

(検出限界は、バックグラウンドの標準偏差の3倍のシグナルを与える濃度)

| 検出限界 (pg/ml) | 元素 (二重収束型質量分析計)   | 元素 (四重極質量分析計)   |
|--------------|---|---|
| < 0.05       | Li, Be, Na, Mg, Al, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co<br>Ni, Cu, Ga, Se, Rb, Sr, Zr, Nb, Rh, Ag, In<br>Sb, Cs, Ba, La, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Tl<br>Pb, Bi, Ce, Pr, Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu<br>Th, U |   |
| 0.05 ~ 0.1   | B, Zn, Ge, As, Y, Mo, Ru, Sn, Au  | Ta, Rh, Th, U   |
| 0.1 ~ 0.5    | Pd, Cd, Te, Pt, Hg, Nd, Sm, Gd, Dy  | Al, Au, Ba, Bi, Cd, Ce, Cs, Dy, Er, Ho, In<br>La, Lu, Mo, Nb, Nd, Pb, Pr, Re, Sm, Sn, Sr<br>Ta, Tb, Tl, Tm, V, W, Y, Yb, Zr |
| 1 ~ 5        | K, Ca, Fe   | Ag, As, B, Cr, Ga, Hg, Li, Mg, Mn, Na, Ni<br>Os, Pb, Pt, Rb, Ru, Sb, Sc, Te, Ti, Zn   |
| 5 ~ 10       | Si, P, S  | Be, Cu  |
| 10 ~ 100     |   | Hf, Se  |
| 200 ~ 1000   |   | Ca, Fe, K, P, Si, S   |



ICP-MS (二重収束型質量分析計・四重極型質量分析計) による分析結果の比較 (岩石試料)

| 試料名<br>元素 (ppm) | MR a<br>76<br>四重極 | MR a<br>76<br>二重収束 | MR<br>76<br>#<br>二重収束 | MR<br>760<br>#<br>二重収束 | MR<br>760<br>#<br>四重極 | MR<br>166<br>#<br>四重極 | MR<br>166<br>#<br>二重収束 | MR<br>1660<br>#<br>二重収束 | MR<br>1660<br>#<br>四重極 |
|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| La ランタン         | 431               | 610                | 1122                  | 1813                   |                       | 2100                  | 1751                   | 1909                    | 1660<br>#<br>四重極       |
| Ce セリウム         | 653               | 895                | 2341                  | 3908                   |                       | 4800                  | 4775                   | 5059                    |                        |
| Pr プラセオジム       | 150               | 208                | 338                   | 574                    |                       | 920                   | 698                    | 735                     |                        |
| Nd ネオジム         | 545               | 880                | 1335                  | 2301                   |                       | 3500                  | 2916                   | 2998                    |                        |
| Sm サマリウム        | 164               | 210                | 306                   | 524                    |                       | 690                   | 684                    | 685                     |                        |
| Eu ヨロビウム        | 52                | 60                 | 172                   | 255                    |                       | 200                   | 309                    | 295                     |                        |
| Gd ガドリニウム       | 179               | 159                | 268                   | 416                    |                       | 740                   | 601                    | 590                     |                        |
| Tb テルビウム        | 22                | 22                 | 52                    | 75                     |                       | 100                   | 97                     | 96                      |                        |
| Dy ヌスフロジウム      | 97                | 106                | 168                   | 266                    | 190                   | 530                   | 402                    | 398                     | 590                    |
| Ho ホルミウム        | 12                | 18                 | 40                    | 58                     | 27                    | 89                    | 83                     | 82                      | 84                     |
| Er エルビウム        | 18                | 43                 | 61                    | 99                     | 78                    | 220                   | 178                    | 170                     | 260                    |
| Tm ツリウム         | 3                 | 6                  | 20                    | 28                     | 8                     | 27                    | 35                     | 35                      | 23                     |
| Yb イットリウム       | 28                | 34                 | 57                    | 90                     | 55                    | 180                   | 147                    | 139                     | 170                    |
| Lu ルテチウム        | 4                 | 5                  | 24                    | 32                     | 9                     | 31                    | 37                     | 37                      | 26                     |
| Th トリウム         |                   | 319                | 724                   | 1176                   |                       |                       | 18356                  | 17453                   |                        |
| U ウラニウム         |                   | 87                 | 91                    | 150                    |                       |                       | 1141                   | 1230                    |                        |

・ [※印]  
セイコー電子工業株式会社製  
装置：セイコー電子工業株式会社製  
(SPQ8000H)  
分解法：HNO<sub>3</sub>, HF  
液性：硝酸溶液

・ [#印]  
日本電子株式会社製  
装置：日本電子株式会社製  
(JMS-PLASMAX II)  
分解法：HNO<sub>3</sub>, HF (マイクロエー)  
液性：硝酸溶液

・ [★印]  
ベルコ科研株式会社製  
装置：セイコー電子工業株式会社製  
(SPQ8000H)  
分解法：Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  
液性：塩酸溶液

【備考】

1. MR166#とMR1660#はほとんど同じ組成では  
ば一試料と思われる。
2. MR76#とMR760#も  
ほとんど同じ組成、但し  
MR76#は試料分解が完  
全でなく、MR760#は  
試料量が少なかったこと  
が幸いして分解完全との  
報告があった。

〔注 意〕

MR a 76 # : セイコー電子工業株式がMR a 76 ※で前処理した同一試料溶液を用いて日本電子株式が分析を行った値である。

標準岩石の測定結果と参考値

| 試料名<br>元素(ppm) | JG-1a |      | JR-1 |      | JB-3 |      |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|
|                | 実測値   | 参考値  | 実測値  | 参考値  | 実測値  | 参考値  |
| La ランタン        | 23.6  | 23   | 18.8 | 21   | 9    | 9.1  |
| Ce セリウム        | 51.5  | 47.1 | 46.9 | 49   | 23.4 | 20.5 |
| Pr プラセオジム      | 6.2   | 8.7  | 6.3  | 6.1  | 3.8  | 3.2  |
| Nd ネオジム        | 21.3  | 19.7 | 22.4 | 25.5 | 16.7 | 16.6 |
| Sm サマリウム       | 5     | 4.5  | 5.7  | 6.2  | 4.6  | 4.3  |
| Eu ユウロピウム      | 1.4   | 0.72 | 0.8  | 0.31 | 1.9  | 1.3  |
| Gd ガドリニウム      | 4.8   |      | 6.3  | 4.8  | 4.6  | 4.6  |
| Tb テルビウム       | 1.2   | 0.87 | 1.3  | 1.1  | 1.1  | 0.82 |
| Dy ヌスボニウム      | 5.1   |      | 6    | 6.2  | 4.6  | 4.4  |
| Ho ホルミウム       | 1.3   |      | 1.5  | 1.1  | 1.2  | 0.84 |
| Er エルビウム       | 2.8   |      | 3.7  | 3.9  | 2.4  | 2.5  |
| Tm ツリウム        | 0.7   | 0.49 | 0.8  | 0.73 | 0.6  | 0.5  |
| Yb イットリウム      | 3     | 3    | 4.3  | 4.6  | 2.5  | 2.4  |
| Lu ルテチウム       | 0.8   | 0.53 | 1    | 0.68 | 0.7  | 0.38 |
| Th トリウム        | 13.9  | 12.1 | 23.8 | 26.5 | 2    | 1.3  |
| U ウラニウム        | 5.7   | 4.7  | 9.7  | 9    | 0.7  | 0.46 |

〔備考〕

・試料名 (JG-1a) : 花崗閃緑岩  
(JR-1) : 流紋岩  
(JB-3) : 玄武岩

・参考値: 地質調査所推奨値

・実測値: 日本電子製製の二重収束型質量分析計JMS-PLASMA SMAX IIにより測定した分析値

分解方法: HNO<sub>3</sub>、HF  
(マイクロウェーブ分解)

## A-8 有機物分析装置に関する情報収集

## A-8 有機物分析装置に関する情報収集

(ガスクロマトグラフ：GC、ガスクロマトグラフ-質量分析計：GC/MS)

担当：沖田 正俊

### 〔目的〕

近年の各種産業の発展は、種々の化学物質による自然水域の汚染を広めている。これはとりもなおさず水道水の汚染を意味し、健康に悪影響を及ぼす可能性がある。これら化学物質を分析するにあたって、東濃地科学センターにおいては特に有機物質についての分析経験がほとんどないため今回、有機物関係の分析装置として、ガスクロマトグラフ装置およびガスクロマトグラフ-質量分析計についての情報収集を実施した。

### 1. 水質環境基準改定の概要

環境庁 法律…………… 水質汚濁防止法（公害対策基本法に基づく）

改正告示 …… 環境庁告示 第16号（平成5年3月8日）

施行期間 …… 平成6年4月1日

水質関係規制値および測定法……………表-1

・水質環境基準の基準項目……………23項目

・水質環境基準の要監視項目……………25項目

・その他：排水基準許容限度、特定地下浸透水に含まれるとする値、水道水の水質基準、同監視項目指針値を表-1に付記した。

### 〔注〕

(1)基準値は、最高値（総水銀のみ年平均値）から年平均値（全シアンのみ最高値）に変更。

(2)有機リン（パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン及びEPN）は環境基準から削除。EPNは要監視項目に設定。

(3)全シアンの旧名称はシアン。

(4)『（不検出）』とは、別に示す方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量下限を下回ることをいう。（定量下限は、全シアン：0.1mg/l、アルキル水銀及びPCB：0.0005mg/l）

表 - 1 水質関係規制値および測定法

| 項目          | 環境基準<br>(<mg/l) | 要監視項目<br>指針値<br>(<mg/l) | 排水基準<br>許容限度<br>(mg/l) | 特定地下<br>浸透水に<br>含まれる<br>とする値<br>(mg/l) | 水道水の<br>水質基準<br>(<mg/l) | 同監視項目<br>指針値<br>(<mg/l) | 測定法             |
|-------------|-----------------|-------------------------|------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| カドミウム       | 0.01            |                         | 0.1                    | 0.001                                  | 0.01                    |                         | ICP, MS         |
| 全シアン        | 不検出             |                         | 1                      | 0.1                                    | 0.01                    |                         | UV/VIS          |
| 鉛           | 0.01            |                         | 0.1                    | 0.005                                  | 0.05                    |                         | ICP, MS         |
| 六価<br>クロム   | 0.05            |                         | 0.5                    | 0.04                                   | 0.05                    |                         | AAS<br>ICP      |
| 砒素          | 0.01            |                         | 0.1                    | 0.005                                  | 0.01                    |                         | AAS<br>ICP      |
| セレン         | 0.01            |                         | 0.1                    | 0.002                                  | 0.01                    |                         | AAS<br>ICP      |
| 総水銀         | 0.0005          |                         | 0.005                  | 0.0005                                 | 0.0005                  |                         | AAS             |
| メチル水銀       | 不検出             |                         | 不検出                    | 0.0005                                 | —                       |                         | GC-ECD          |
| PCB         | 不検出             |                         | 0.003                  | 0.0005                                 | —                       |                         | GC-ECD          |
| 有機リン<br>化合物 | —               |                         | 1                      | 0.1                                    | —                       |                         | GC-MS<br>GC-FPD |
| ジクロロ<br>メタン | 0.02            |                         | 0.2                    | 0.002                                  | 0.02                    |                         | GC-MS<br>GC-FID |
| 四塩化炭<br>素   | 0.002           |                         | 0.02                   | 0.0002                                 | 0.002                   |                         | GC-MS<br>GC-ECD |

| 項 目                    | 環境基準<br>(<mg/l) | 要監視項<br>目指針値<br>(<mg/l) | 排水基準<br>許容限度<br>(mg/l) | 特定地下<br>浸透水に<br>含まれる<br>とする値<br>(mg/l) | 水道水の<br>水質基準<br>(<mg/l) | 同監視項<br>目指針値<br>(<mg/l) | 測定法             |
|------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| 1-2-ジクロロ<br>エタン        | 0.004           |                         | 0.04                   | 0.0004                                 | 0.004                   |                         | GC-MS<br>GC-FID |
| 1-1-ジクロロ<br>エチレン       | 0.02            |                         | 0.2                    | 0.002                                  | 0.02                    |                         | GC-MS<br>GC-ECD |
| 1,1-2,2-テ<br>トラクロロエチレン | 0.04            |                         | 0.4                    | 0.004                                  | 0.04                    |                         | GC-MS<br>GC-ECD |
| 1-1-1-トリ<br>クロロエタン     | 1               |                         | 3                      | 0.0005                                 | 0.3                     |                         | GC-MS<br>GC-ECD |
| 1-1-2-トリ<br>クロロエタン     | 0.006           |                         | 0.06                   | 0.0006                                 | 0.006                   |                         | GC-MS<br>GC-ECD |
| トリクロロエチ<br>レン          | 0.03            |                         | 0.3                    | 0.002                                  | 0.03                    |                         | GC-MS<br>GC-ECD |
| テトラクロロエ<br>チレン         | 0.01            |                         | 0.1                    | 0.0005                                 | 0.01                    |                         | GC-MS<br>GC-ECD |
| 1-3-ジクロロ<br>ベンゼン       | 0.002           |                         | 0.02                   | 0.0002                                 | 0.002                   |                         | GC-MS<br>GC-ECD |
| チウラム                   | 0.006           |                         | 0.06                   | 0.0006                                 | 0.006                   |                         | HPLC            |
| シマジン                   | 0.003           |                         | 0.03                   | 0.0003                                 | 0.003                   |                         | GC-MS<br>GC-FTD |
| チオベン<br>カルプ            | 0.02            |                         | 0.2                    | 0.002                                  | 0.02                    |                         | GC-MS<br>GC-FTD |

| 項目               | 環境基準<br>(<mg/l) | 要監視項目<br>指針値<br>(<mg/l) | 排水基準<br>許容限度<br>(mg/l) | 特定地下<br>浸透水に<br>含まれる<br>とする値<br>(mg/l) | 水道水の<br>水質基準<br>(<mg/l) | 同監視項目<br>指針値<br>(<mg/l) | 測定法             |
|------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| ベンゼン             | 0.01            |                         | 0.1                    | 0.001                                  | 0.01                    |                         | GC-MS<br>GC-FID |
| クロロホルム           |                 | 0.06                    |                        |  | 0.06                    |                         | GC-MS<br>GC-ECD |
| トランス-1-2-ジクロロエタン |                 | 0.04                    |                        |  |                         | 0.04                    | GC-MS<br>GC-ECD |
| 1-2-ジクロロエタン      |                 | 0.06                    |                        |  |                         | 0.06                    | GC-MS<br>GC-ECD |
| p-ジクロロベンゼン       |                 | 0.3                     |                        |  |                         | 0.3                     | GC-MS<br>GC-ECD |
| イソキサチオン          |                 | 0.008                   |                        |  |                         | 0.008                   | GC-MS<br>GC-FPD |
| ダイアジノン           |                 | 0.005                   |                        |  |                         | 0.005                   | GC-MS<br>GC-FPD |
| フェニトロチオン         |                 | 0.003                   |                        |  |                         | 0.003                   | GC-MS<br>GC-FPD |
| イソプロチオン          |                 | 0.04                    |                        |  |                         | 0.04                    | GC-MS<br>GC-ECD |
| 枯草銅              |                 | 0.04                    |                        |  |                         | —                       | HPLC            |
| クロロタロニル          |                 | 0.04                    |                        |  |                         | 0.04                    | GC-MS<br>GC-ECD |

| 項目                   | 環境基準<br>(<mg/l) | 要監視項目<br>指針値<br>(<mg/l) | 排水基準<br>許容限度<br>(mg/l) | 特定地下<br>浸透水に<br>含まれる<br>とする値<br>(mg/l) | 水道水の<br>水質基準<br>(<mg/l) | 同監視項目<br>指針値<br>(<mg/l) | 測定法             |
|----------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| プロピザ<br>ミド           |                 | 0.008                   |                        |  |                         | 0.008                   | GC-MS<br>GC-ECD |
| EPN (有<br>機銅)        |                 | 0.006                   |                        |  |                         | 0.006                   | GC-MS<br>GC-FPD |
| ジクロル<br>ボス           |                 | 0.01                    |                        |  |                         | 0.01                    | GC-MS<br>GC-FPD |
| フェノプ<br>カルブ          |                 | 0.02                    |                        |  |                         | 0.02                    | GC-MS<br>GC-FPD |
| イプロベ<br>ンホス          |                 | 0.008                   |                        |  |                         | 0.008                   | GC-MS<br>GC-FPD |
| クロニトロ<br>フェン         |                 | 0.005                   |                        |  |                         | 0.005                   | GC-MS<br>GC-ECD |
| トルエン                 |                 | 0.6                     |                        |  |                         | 0.6                     | GC-MS<br>GC-ECD |
| キシレン                 |                 | 0.4                     |                        |  |                         | 0.4                     | GC-MS<br>GC-ECD |
| フタル酸<br>ジエチル<br>エステル |                 | 0.06                    |                        |  |                         | 0.06                    | GC-MS<br>GC-ECD |
| ほう素                  |                 | 0.2                     |                        |  |                         | 0.2                     | ICP, MS         |
| フッ素                  |                 | 0.8                     |                        |  | 0.8                     |                         | UV/VIS<br>IC    |



| 項目            | 環境基準<br>(<mg/l) | 要監視項目<br>指針値<br>(<mg/l) | 排水基準<br>許容限度<br>(mg/l) | 特定地下<br>浸透水に<br>含まれる<br>とする値<br>(mg/l) | 水道水の<br>水質基準<br>(<mg/l) | 同監視項目<br>指針値<br>(<mg/l) | 測定法            |
|---------------|-----------------|-------------------------|------------------------|--|-------------------------|-------------------------|----------------|
| ニッケル          |                 | 0.01                    |                        |  |                         | 0.01                    | AAS<br>ICP, MS |
| モリブデン         |                 | 0.07                    |                        |  |                         | 0.07                    | AAS<br>ICP, MS |
| アンチモン         |                 | 0.002                   |                        |  |                         | 0.002                   | AAS<br>ICP, MS |
| 亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素 |                 | 10                      |                        |  | 10                      |                         | UV/VIS<br>IC   |
| ブロクロロメタン      |                 |                         |                        |  | 0.1                     |                         | GC-MS          |
| ブromoクロロメタン   |                 |                         |                        |  | 0.03                    |                         | GC-MS          |
| ブromoホルム      |                 |                         |                        |  | 0.09                    |                         | GC-MS          |
| 総トリハロメタン      |                 |                         |                        |  | 合計<br>(0.1)             |                         | GC-MS          |
| フェノール類        |                 |                         |                        |  | 0.005                   |                         | UV/VIS         |
| 陰イオン界面活性剤     |                 |                         |                        |  | 0.2                     |                         | UV/VIS         |
| ホルムアルデヒド      |                 |                         |                        |  |                         | 0.08                    | GC             |

| 項 目           | 環境基準<br>(<mg/l) | 要監視項<br>目指針値<br>(<mg/l) | 排水基準<br>許容限度<br>(mg/l) | 特定地下<br>浸透水に<br>含まれる<br>とする値<br>(mg/l) | 水道水の<br>水質基準<br>(<mg/l) | 同監視項<br>目指針値<br>(<mg/l) | 測定法   |
|---------------|-----------------|-------------------------|------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-------|
| ジクロ酢酸         |                 |                         |                        |  |                         | 0.04                    | GC-MS |
| トリクロ<br>ロ酢酸   |                 |                         |                        |  |                         | 0.3                     | GC-MS |
| ジクロアセト<br>トリル |                 |                         |                        |  |                         | 0.08                    | GC-MS |
| 抱水クロ<br>ラール   |                 |                         |                        |  |                         | 0.03                    | GC-MS |

[測定法 略]

- ・ UV/VIS : 吸光光度法
- ・ ICP : 高周波誘導結合プラズマ発光分光分析法
- ・ AAS : 原子吸光分析法
- ・ IC : イオンクロマトグラフ法
- ・ HPLC : 高速液体クロマトグラフ法
- ・ GC : ガスクロマトグラフ法
- ・ MS : 質量分析法
- ・ ECD : 電子捕獲検出器
- ・ FID : 水素炎イオン化検出器
- ・ FPD : 炎光光度型検出器
- ・ FTD : アルカリ熱イオン型検出器

## 2. ガスクロマトグラフィー法(gas-chromatography, GC)

### 装置の原理概要

固定相に対する移動相の吸着性、あるいは分配係数の違いにより、カラム内の移動速度に差を生ずることを利用して混合物の分離を行い、各成分の定性・定量分析を行う方法を一般にクロマトグラフ分析法と呼ぶ。移動相が気体のときガスクロマトグラフィーと呼び、多成分系混合物の分析に最も有効な手段である。

### 2-1 分離の原理と特徴

粒度を揃えたケイソウ土の微粒子に不揮発性のシリコン油を含ませ、これを細長い金属管に均一に充填する。この微粒子を充填剤、また充填剤の詰まった金属管をカラムと呼ぶ。カラムを一定温度、たとえば、90℃に加熱しヘリウムのような不活性ガスを流しておく。次にカラムの入口からベンゼン (bp78℃) とトルエン (bp 110℃) の混合物を少量注入すると、両成分はそこで加熱されて直ちに蒸発気化する。さらにヘリウムを流し続けると試料蒸気はカラムの中を押し流され充填剤粒子の隙間を通過して出口の方に流れていく。この様子を図-1に示す。

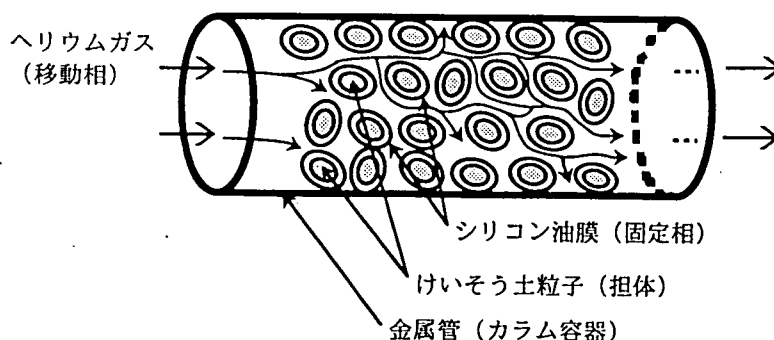


図-1 ガスクロマトグラフカラムの一部模型図

シリコン油とベンゼンやトルエンは互いによく溶け合うからベンゼンおよびトルエンの蒸気の一部は充填剤粒子の表面にあるシリコン油膜に溶け込む。シリコン油膜に溶け込んでいる間はベンゼンもトルエンもその位置に足止めされ、移動することはできない。もちろん、カラム全体が試料成分の沸点付近に加熱されているから、いったんシリコン油膜に溶け込んだベンゼンやトルエンは新しいヘリウムガスが流れてくると再び蒸発気化し、ヘリウムガスの流れに乗って出口のほうに移動する。カラムの中で充填剤粒子に出会うたびごとに試料成分は溶解と蒸発をくり返すが、全体として見るとトルエンのほうがベンゼンよりも沸点が高く、蒸発しにくい。逆にいえばシリコン油膜に溶け込んで足止めされている割合はトルエンのほうがベンゼンより長いはずで、それだけトルエンはカラムを通り抜けるのにベンゼンよりも長い時間を要することになる。したがってカラム入口に同時に注入したベンゼンとトルエンの混合物は2 m程のカラムを通り抜ける間に両成分の移動速度の差によって分離し、カラム出口から流れ出てくる時間に差が生じる。カラム出口に適当なガス検知器を設けておくとそれぞれの成分が別々に出てくるのを検出することができる。

同じカラムに今度はベンゼンとエタノールの混合物を注入して見る。ベンゼンもエタ

ノールも沸点は80℃ほどでほとんど等しいが、ベンゼンが親油性の炭化水素化合物であり、シリコン油に溶け込みやすいのに対して、エタノールは水酸基を有して親水性に富み、シリコン油には溶けにくい。従ってカラム中ではシリコン油膜にはあまり取り込まれず、大部分はヘリウムガスとともに移動することになる。すなわち、二つの成分は極性が異なり、シリコン油膜への溶け込みやすさが異なることによってカラム内での移動速度に差を生じ、エタノールがベンゼンよりも先に進むので分離されて、この順序でカラムから流出する。

シリコン油膜はそれを保持しているケイソウ土微粒子上に固定されていて、カラム内のその位置から移動することはない。一方、ヘリウムガスは充填剤粒子の隙間をぬってカラム中を出口にむかって移動している。このようなカラム内の二つの相の間で試料分子は一部はシリコン油膜に、また残りはヘリウムガスに分配され、それぞれ溶解・蒸発をくり返して両相の間を行き来しながら、出口にむかって移動する。カラム内での試料分子の分配に関与しているもののうち、シリコン油膜を固定相(stationary phase)といい、ヘリウムガスを移動相(mobile phase)と呼ぶ。これらに対し、ケイソウ土粒子はその多孔質の広い表面にシリコン油膜を保持しているだけで、試料分子の分配には関与していない。このような役割のものを担体(support)と呼んでいる。

上述の二つの例では混合物の各成分は固定相と移動相との間の分配の差によってカラム中での見かけの移動速度が異なり、分離する。このような分離法を一般にクロマトグラフィーといい、移動相に気体を用いる場合\*1、特にガスクロマトグラフィー(gas-chromatography, GC 法と略記)と呼んでいる。

[\*1ガスクロマトグラフィーでは移動相に用いる気体物質を通常“キャリアーガス”(carrier gas)と呼んでいる。]

試料成分を運ぶ移動相が気体であるから、GC法で分離できる試料物質は程度の難易はあるにせよ、蒸発気化できるものでなければならない。GC法でカラムから試料成分が分離されて流出してくる状態を記録したものをガスクロマトグラム(gas-chromatogram)というが、一例をその各部の名称とともに図-2に示す。

$$VR = tR \cdot F \quad \text{..... (式-1)}$$

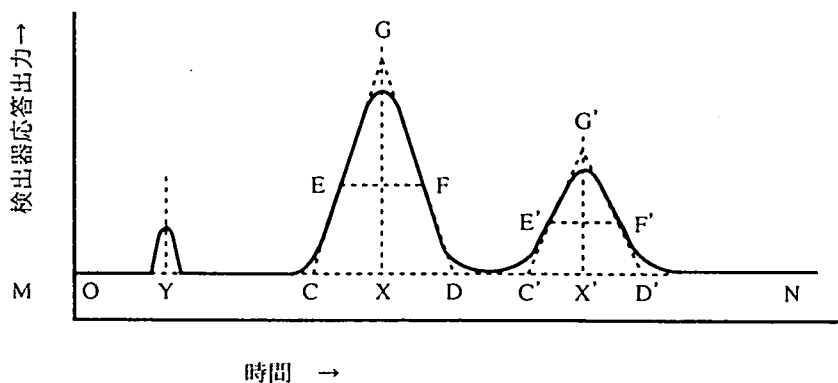


図-2 ガスクロマトグラムと各部名称

MN : 基線(base line), G : ピーク(peak)又はその頂点, O : 出発点(start), OX : 保持時間, CD : ピーク幅(時間目盛り), EF : 半値幅( ), Y : 空気ピーク

試料分量が増すとピーク曲線の下面積も大きくなり、また操作条件が適正に選ばれば多くの場合、ピークの形は対称的な正規分布になる。

試料が注入されてカラムから流出してくるまでの時間、図-2でピークの頂点が現れるまでの時間をその試料成分の保持時間 (retention time,  $t_R(s)$ ) という。またその間に流れた移動相の体積を保持容量 (retention volume,  $V_R(ml)$ ) といひ、 $V_R$  と  $t_R$  との関係は (式-1) で示される。

ここで  $F (ml/s)$  は移動相の流速である。通常は流速を一定に保ち、一定速度で動く記録紙上に検知器からの信号を記録するので、直接に観測できる値は  $t_R$  である。  $t_R$  と  $V_R$  はまとめて保持値と呼ばれ、GC法において試料物質を同定する上に基礎となる数値である。

通常のGC法では1回の分離操作で注入する試料量は  $0.1 \sim 0.2 \mu l$  程度の微量であり、他の分離法に比べて微量、迅速、高感度、高分解能、簡便というのが特徴となっているが、一方ではこれらの特徴を利用して、カラムの直径を大きくし、大量試料の分離と純品採取を目的とした分取ガスクロマトグラフも市販され、大量の高純度物質をGC法により得ることが可能になっている。

赤外分光法、紫外可視分光法、核磁気共鳴法、あるいは質量分析法など他の機器分析法に比べると、GC法は試料物質の分離と同時に定量と同定の機能を有することが特徴である。したがって石油製品や環境試料のように非常に多数の成分を含む混合物の分離・定量分析などの場合に特に有効であって、他の機器分析法では多成分混合物の同時定量が著しく困難であるのと対照的である。しかし一方、GC法では一つの成分は一つのピークとして表示され、試料成分のもつ化学構造上の特徴はほとんど現れないので、積極的な構造確認法としては不十分であり、未知物質の構造推定が必要な場合には他の分光学的な方法の助けをかりなければならない。最近では定性確認法としてすぐれた能力をもつ赤外分光法や質量分析法などとGC法を直結して、分離・定性・定量分析を同時に行う方法が発展し、さらにマイクロコンピューターを組み合わせる高精度かつ迅速に測定結果の演算処理を行う装置が市販されている。

## 2-2 装置と操作法

ガスクロマトグラフ (gas-chromatograph) は基本には①キャリアガス流量調節部、②試料気化部、③カラム、④検出部の四つの部分から構成され、これらに⑤読み取り・記録部が外部装置として付け加わる。図-3に装置の構成を示す。

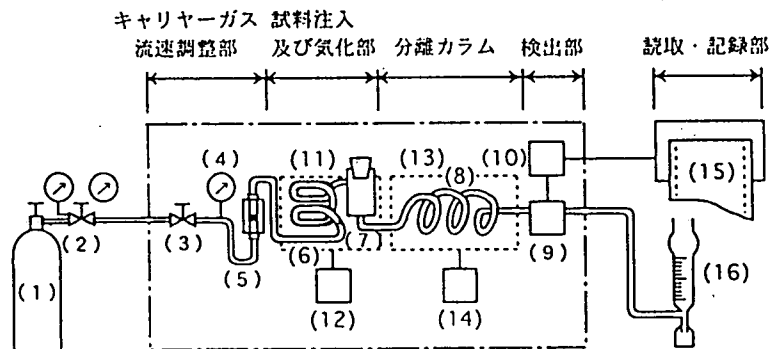


図-3 ガスクロマトグラフ本体および周辺機器の配置図

(1) キャリヤーガスポンプ、(2) 減圧弁、(3) 微調整弁、(4) 圧力計、(5) ローターメーター型流量計、(6) 予熱管、(7) 試料注入口及び気化室、(8) 分離カラム、(9) 検出器、(10) 増幅装置、(11) 気化部恒温槽、(12) 同温度調節装置、(13) カラム恒温槽、(14) 同温度調節装置、(15) 自動平衡記録紙、(16) 石鹼膜型流量計。

以下これら各部の働きと操作法について説明する。

### 2-2-1 キャリヤーガス流速調節部

キャリヤーガスにはヘリウムのほか、水素、窒素、アルゴンなどが用いられている。GC装置の使用に際しては全ての操作に先立って、まずキャリヤーガスがカラムの中に流れていることを確かめる。高圧ポンプに貯えられたキャリヤーガスは減圧弁を通して2~4 kg/cm<sup>2</sup>に圧力を下げた後、流速調節部に導入する。ここで必要な流速が得られるように流量計\*<sup>2</sup>と微調整弁により圧力を調節する。[\*<sup>2</sup>通常、ロータメーター型流量計が用いられているが、キャリヤーガスの種類、圧力によって示度が変わるので正確な流速を知るためには装置のキャリヤーガス流路の末端で石鹼膜流量計により測定するのが簡便であり、しかも精度が高い。] 微調整弁は一度設定すれば他の条件が変わらない限り、一定の流速を保つ。ただキャリヤーガス流速はカラム温度により大きく変化するので、カラム温度が設定値に達して一定になった後に再度、流速を測定し、再調節することが必要である。キャリヤーガス流速は内径3 mm程度のカラムに対しては通常10~30 ml/minの範囲が用いられるが、得られたクロマトグラムを見た上でさらにピークの分離能がより大きくなるようによりくり返し調整することが望ましい。

### 2-2-2 試料気化部

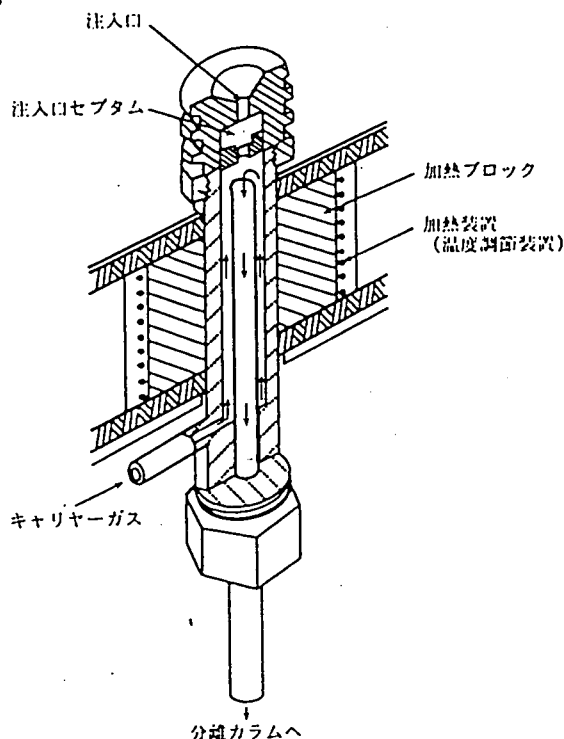


図-4 注入口および気化室

カラムに試料混合物の蒸気を送り込むにはまず試料を気化室に注入し、ここで蒸発気化させる。気化室は図-4に示すようにキャリアガスの流路の一部となっていて、その外側には温度調節のできる加熱装置が付いている。ここで蒸発した試料蒸気はキャリアガスと混ざり合ってカラムに送られる。カラム入口における試料蒸気の広がり幅が小さいほど得られるクロマトグラムのピークの変換率は高くなる。したがって気化室への試料注入量をできるだけ少なくすることと、注入した試料混合物を瞬間的に蒸発気化することが必要である。このため気化室の温度はできるだけ高温に保つ。通常は試料成分中の最高沸点よりも20~30℃高く設定するが、試料物質の種類によっては気化室温度で熱分解を起こし、分解生成物によると思われる再現性の乏しいピークが現れるので試料物質の熱安定性には注意しなければならない。

また試料注入量は少ない方がクロマトグラムの再現性や試料量とピーク面積との比例関係がすぐれている。一方、注入量がカラムおよび検出器の許容量を越える場合にはピークの形が歪んだり、ピーク面積と試料量との関係の再現性や規則性が崩れる。通常0.2~10mgの試料を用いるが、最適値については個々の場合について実験的に求めておかなければならない。

液体試料の場合にはそのままマイクロシリンジ(microsyringe)で注入口セパラム(隔膜)を通して気化室に注入する。原試料が室温で固体の場合には適当な溶媒に溶かして液体の場合と同様に注入する。

注入口セパラムはシリコーンゴムのような耐熱性ゴムで作られているが、使用回数が重なると熱のため弾力性を失い、またマイクロシリンジで突き通した孔がひろがってキャリアガスや試料蒸気の漏れを起こすので、定期的な交換が必要である。

また気化室内は熱分解によるタール状物質などがたまらないようたびたび洗浄して、常に清浄な状態に保たなければならない。

### 2-2-3 カラムおよび恒温槽

試料気化部から送られてきた試料混合物蒸気の変換が行われる部分であり、GC装置の最も重要な部分である。通常用いられるカラムは内径3~6mm、長さ1~3mのステンレス鋼、アルミニウム、銅などの金属製あるいはガラス製のらせん型の細管の中に充填剤を詰めた、いわゆる充填カラム(packed column)である。ガラスカラムは、管の材料と試料物質との相互作用が少ないので、ステロイド、アミノ酸誘導体、高級脂肪酸、金属錯体など高沸点物質の変換分析には不可欠といえる。

カラムに詰める充填剤は次の2種に分類できる。

#### 1)液体固定相の充填剤

液体固定相の場合にはケイソウ土、耐火煉瓦粉末、ガラスまたは熔融シリカビーズ、黒鉛などの微粒子の表面に固定相液体を薄膜状に塗布して用いる。担体は試料混合物の変換に直接の役割は果たしていないが、試料が吸着性の大きい極性物質の場合には担体の吸着効率がクロマトグラフ変換に影響するので、担体の材質や表面処理法についての十分な知識が必要である。

担体微粒子の粒度は小さいほうがよいが、あまり微細なものはカラムの充填状態が不

均一になり、またカラム入口と出口におけるキャリアガスの圧力差を大きくするので好ましくない。粒径分布が広く、とくに微粉末状のものが混入すると充填状態の粗密がいっそう甚だしくなり、分離に好ましくない影響が現れるので、適度の粒径でしかも粒度を揃えることが大切である。

分析目的に適応した固定相液体の選択は非常に重要であるが、分析試料に含まれる成分の組合せにより変わるので最適固定相液体を予測する一般則はないといってよい。ただ多くの文献例を見ると固定相と対象試料物質の化学構造や極性と保持値との相関関係から大略の区別ができる。

無極性固定相液体は試料成分に対して親和力が乏しいので、試料成分の移動速度は主としてその成分の揮発しやすさによって決まり、試料のうち沸点の低い成分から順次流出する。極性の固定相液体は極性の試料物質との相互作用が大きく、沸点が同じであっても極性の大きい成分が遅れて流出するので極性の差による分離が期待できる。

充填剤は既製品が多種類市販されているし、また必要な条件を満たすものを注文することもできるが、分析目的に最適の条件のものを使用することがGC法を有効に利用する上に重要である。また、カラムは充填の仕方の良否によってカラム効率が大きく変動するので、なるべく分析者自身で効率の高いカラムを再現性よく作ることができるよう調製法に習熟することが大切である。

## 2) 固体固定相の充填剤

活性炭、活性アルミナ、シリカゲル、多孔性球状シリカ、分子ふるい、その他無機塩類など吸着性のある物質を、粒度30～80メッシュに揃えたものが用いられる。これらは入手先によってかなり性状が異なる。いずれも吸着性の強い材料なのでその保存状態によるが使用に際してはあらかじめ空気を流しながら6～10時間、200～250℃に加熱し、水分その他の吸着物を除去することが必要である。

分離カラムには以上の充填カラムのほか、キャピラリー（毛細管）中空カラムがある。中空カラムは充填剤を全く使用することなく、長い毛細管の内壁を固定相液体膜で被覆したもので、中空構造になっている。このためキャリアガスの流れに対する抵抗が小さく、長いカラムを用いることができるので充填カラムに比べて高い分離能が得られ、石油製品の分析などでは優れた能力を発揮している。毛細管の材質としてステンレス鋼、熔融シリカ、ガラスなどが用いられる。毛細管カラムは、注入する試料量が少量でなければならないので、試料注入に特別な付加装置が必要なこと、高感度検出器と組合せなければならないこと、また市販品は非常に高価なことなどの不便な点があり、手軽に各種の固定相のカラムを使用することがむずかしいが、カラム材料およびカラム作製法の改良が進み、各種の高感度検出器と組合せて高分解能を必要とする分析に威力を発揮している。

カラムは温度制御された空気浴恒温槽中に格納されている。カラム温度は保持量と分離能に大きな影響を与えるので、恒温槽内の温度は一定で、しかも均一に保たなければならない。このため恒温槽は断熱材で保温され、槽内には加熱装置と高効率の空気か



くはん扇が配置されていて精密に温度制御されている。

カラム温度が高いと試料は速やかに流出するが分離能は低下する。一方、低い温度で操作すると試料物質の流出に長時間要するが、分離に必要なカラム長さは小さくてよい。

最適カラム温度は、試料物質の沸点範囲とカラムの固定相液体比によって変わるが、通常、液体比20%以上のカラムでは試料中の最高沸点成分の沸点付近、液体比5%のカラムでは試料中の最低沸点成分の沸点付近を目安として設定するとよい。固体固定相を用いる場合にはシリカゲル、活性アルミナ、分子ふるいカラムでは通常室温付近、活性炭は150～200℃となる。

試料物質の揮発しやすさ、化学的性質、分析目的、使用するカラム固定相の種類により多少の修正をするのは勿論であるが、最初に得られたクロマトグラムを見た上で着目成分について、さらに高い分離能が得られ、しかも迅速性が損なわれないように設定温度の修正をくりかえし、最適温度を選び出す。

カラム温度設定に際して、固定相液体の使用温度範囲がほぼ定まっていることには注意しなければならない。許容温度よりも高い温度で使用すると、固定相液体の熱分解や蒸発などによって気体物質が発生し、再現性の乏しいクロマトグラムを与え、またカラムの寿命も短くなる。一方、最低温度以下ではカラム効率が急激に低下し、テーリングなどピークの形状に異常を生じる。

#### 2-2-4 検出部

カラムの中で分離され、キャリアガスとともに送り出されてきた試料各成分の流出状態を検出し、流出量に対応する電気信号に変換する部分である。検出部の温度はカラム恒温槽と同じか、あるいは20～30℃高く保温してカラムから流出してきた試料成分の蒸気が検出器内で凝縮しないよう温度制御する必要がある\*<sup>3</sup>。[\*<sup>3</sup>熱伝導度型検出器以外の検出器は通常、気化器またはカラム恒温槽と一緒に温度制御されているので、特別の温度設定は不要である。]連続検出された応答信号は直ちに増幅処理された後、外部の自動平衡記録計を用いて読み取りと同時にその時間変化が連続的に記録紙上に描き出され、ガスクロマトグラムチャートが得られる。

検出器には不特定多種類の試料物質に対して同程度に対応する汎用検出器と特定の試料物質同族体群に対してのみ高感度に対応する選択的検出器がある。これらは試料物質の組成や分析目的によって使い分けられているが、通常、次のような検出器が用いられている\*<sup>4</sup>。[\*<sup>4</sup>イオン化に放射線源を用いる検出器を含むGC装置の設置、使用に際しては放射線障害予防のための法律に基づいて届け出が必要である。]

##### 1) 水素炎イオン化検出器(flame ionization detector, FID)

炭素を含む化合物を酸化炎中で燃焼させるとイオン性の燃焼生成物によって、炎が電導性をもつ。このイオン電流を測定することにより、微量の試料分子がカラムから流出してきたことが検出できる。燃料となる水素や助燃剤の空気キャリアガスに用いるヘリウムや窒素、さらに炭酸ガス、水などの無機化合物は、水素炎の温度(約2100℃)ではイオンを生成せず、炭素を含む可燃性有機化合物のみが高感度で検出される。

模式図を図-5に示す。この検出器は熱伝導型検出器に比べキャリアガスの流量、周囲温度の変化に鈍感であり、 $10^{-7} \sim 10^{-10}$  mol/ml 程度、重さ約 20 pg, 濃度 10 ppb の低濃度試料を検出することができる。

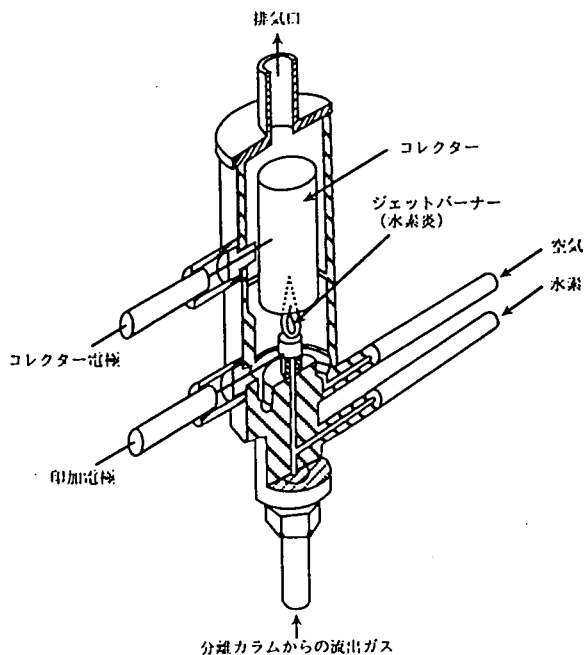


図-5 水素炎イオン化検出器

## 2) 電子捕捉型検出器 (electron capture detector, ECD)

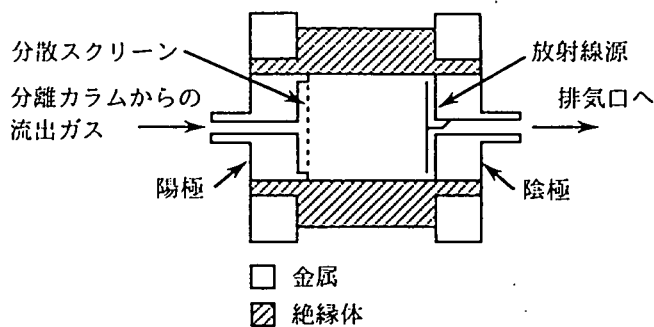


図-6 電子捕捉型検出器

この検出器は図-6に示すような構造をもち、陰イオンになりやすい分子や電子に対する親和性の大きい分子の試料の検出に用いられる。キャリアガスとしては、窒素あるいは10%のメタンを含むアルゴンなどを使用するが、これらの気体は放射線源からのβ線によってイオン化し陽イオンと電子に分かれる。検出器に正負二つの電極をおき、両極間に適当な電圧を加えると電離で生成した電子により $10^{-8}$  mA程度の定常的な電流が流れる。電子に対して親和性が大きく、陰イオンを作りやすい試料分子が検出器内に入ってくると、これらは電子を捕捉して陰イオンとなるが、この陰イオンは動きが遅いので定常電流は減少する。この定常電流の減少量から試料量を測定する。一方、電子を捕捉して生じた陰イオンはやがてβ線イオン化で生じた陽イオンと再結合して消滅する。炭素は電子に対する親和性が他のヘテロ原子に比べると極めて小さく、炭化水素はEC

Dではほとんど検出されないが、酸素やハロゲンを含む化合物、ニトロ化合物、四エチル鉛、有機水銀などは極めて高感度で検出されるという特色をもっている。

### 3) 水素炎熱イオン検出器(flame-thermoionic detector, FTD)

FTDはとくにリンおよび窒素を含有する化合物に対して高感度の検出能をもつリンおよび窒素の選択的検出器である。基本的な構造はFIDとほとんど同じであるが、図-7に示すように水素炎のすぐ近くにアルカリ塩を置き、水素炎で加熱されたアルカリ金属イオンとリンおよび窒素との選択的な反応によって生じるイオン電流を検出する。

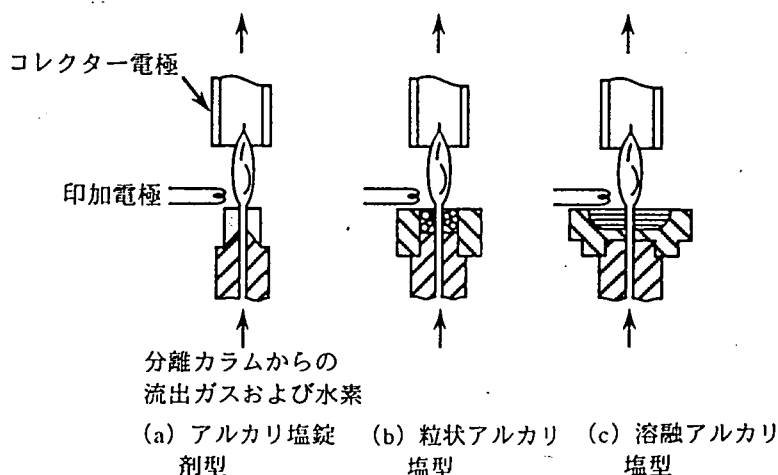


図-7 水素炎熱イオン検出器 (ジェットバーナー付近の拡大図)

FTDはリンや窒素を含まない他の有機化合物に対してもかなりの検出能力を有するが、リン化合物の場合はその $10^3 \sim 10^4$ 倍の高感度で検出される。

### 4) 炎光光度検出器(flame-photometric detector, FPD)

FPDは硫黄およびリンの炎光発光を分光光度法で検出する高感度の選択的検出器である。構造を図-8に示す。

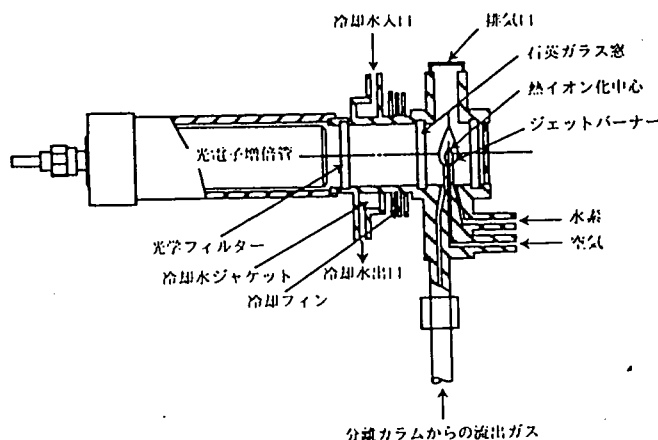


図-8 炎光光度検出器

リンや硫黄を含む化合物を還元炎中で燃焼すると、特性的な炎光を放射する。この光を光学フィルターを通して分光し、その強度を光電子増倍管で測定して、リンおよび硫

黄化合物を検出する。FPDは炭化水素には全く不感であり、残留農薬や大気汚染硫黄化合物の分析に有用な高感度の選択的検出器である。ただ、水素過剰の還元炎は比較的不安定であり、測定状態の維持に熟練を要する。

その他検出器として、①熱伝導度型検出器(thermal conductivity detector, TCD) および②ヘリウムイオン化検出器(helium ionization detector, HID)がある。

①TCDはタングステンフィラメント、サーミスタなど温度によって電気抵抗の変化する感温素子が金属ブロック中のガス流路に挿入されている。フィラメントを直流電流で加熱し、参照側にはカラムに入る前の純キャリアガスを、また、検出側には分離カラムから出てきたキャリアガスを通す。キャリアガスに比べて熱伝導度の低い試料蒸気が入ると検出側フィラメントの温度は上昇し、その温度変化に応じて電気抵抗が増大するので、感温素子で構成されているブリッジ回路に電位差変動を生じ試料蒸気の流出に対応する応答シグナルが取り出せる。

この検出器は分子量の小さい化合物を除いては大多数の試料蒸気に対して同程度の感度を示し、混合物試料中の成分の存在割合を半定量的に知るためには非常に適した汎用検知器であるが、キャリアガスの種類や流速、周囲温度などによる感度の変化が大きく、また操作条件のわずかな変動によっても基線のずれや傾きを生じ、また感度が変わるなどの弱点をもっている。この検出器は温度制御に特に厳密さを要するのでカラムや気化室とは独立に温度制御されており、分離カラムの設定温度に対応して検出器温度を設定しなければならない。キャリアガスとしては熱伝導度が他の物質と大きく異なっているヘリウム、水素を使用することが必要である。ただ、水素をキャリアガスに用いる場合には、必ず屋外の安全な場所に導いて放出し、火気にはとくに注意しなければならない。

②HIDはppb以下の濃度の無機ガスを検出できる唯一の超高感度検知器である。イオン化室の中に2枚の接近した電極がおかれていて、一つは薄い金属箔で放射線源を含んでいる。

放射線と高い電場との組合せにより両電極の間の狭い間隙を通るキャリアガスのヘリウムが励起され、この励起エネルギーを用いてネオン以外の他のあらゆる種類の試料がイオン化される。

HIDは非常に高感度であり、キャリアガス中の微量の不純物も妨害となるので、キャリアガスのヘリウムは特別の浄化装置で高純度精製しなければならない。また固定相も固体のもの(分子ふるい、ポラパック、シルカゲル、活性炭、活性アルミナなど)のみが使用できる。

### 3. ガスクロマトグラフィー-質量分析法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)

#### 装置の原理概要

質量分析法は有機化合物の分子量と構造に関する知見を与える分析法であり、現在では有機化学の分野だけでなく、生化学や環境科学分野の研究者にとってなくてはならない機器分析手段である。しかしながら、その弱点は混合物の分析が困難なことである。そこで、この弱点を克服するため、混合物の分離、定量に優れた分析方法であるガスクロマトグラフィーと結合して用いる方法が、GC-MS法である。マススペクトル法自体には元来混合物試料を分離する能力がない。通常ガスクロマトグラフの検出器がマススペクトロメーターになっただけであり、成分分離については同様である。

#### 3-1 分離の原理と特徴

GC-MSでは、ガスクロマトグラフで分離した成分のマススペクトルを測定する。いわば、ガスクロマトグラフの検出器として質量分析計を用いるわけである。ガスクロマトグラフィーで普通に用いられる充填カラムを使用した場合、カラムからのキャリアガスの流速は、 $20\text{ ml/min}$  を越える\*<sup>5</sup>。[\*<sup>5</sup>ガスクロマトグラフによる分離にキャピラリーカラムを用いた場合、ガス流量が $2\text{ ml/min}$  以下の時には、そのまま質量分析計に導入できる場合もある。] 一方、質量分析計のイオン化室には通常 $10^{-6}\text{ Torr}$ の高真空が要求されるため、セパレーター(またはエンリッチャー, enricher)を用いてキャリアガスの大部分を除き、分離成分のみを質量分析に導入する必要がある。このセパレーターには種々の型が考案されている。

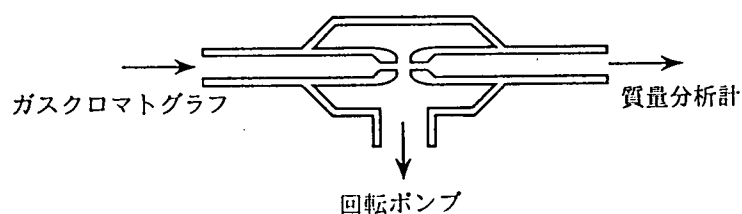


図-9 ジェット型セパレーター略図

図-9はジェット型と呼ばれるセパレーターで、管の細い部分をキャリアガス(ヘリウムが最も一般的に使用されている)と試料分子が通過する際に、試料分子に比べて分子量が小さいキャリアガスはより多く直角方向に拡散し排気される。そのため、試料分子が濃縮され、イオン化室に必要な高真空を保ったままでガスクロマトグラフと質量分析計を結合することが可能になる。このほかにワトソン・ビーマン型と呼ばれる型のセパレーターがある。この型ではキャリアガスと試料分子が多孔質の管を通過する際、より軽いキャリアガスが多孔質の孔を通して除去される。セパレーターとしては以上の二つの型が一般的に普及しているが、現在ではジェット型が主流であり、材質も金属製の二段ジェット型から、ガラス製の一段ジェット型に変わりつつある。金属製ジェット型セパレーターは耐久性に優れているが、熱分解を起こしやすい試料(生体試料など)を分析する場合には、ガラス製ジェットを用いるほうが安全である。

ガスクロマトグラフ分析においては、溶媒が検出器へ流入することは特別な場合以外

は分析の障害とはならないが、GC-MSではたとえ溶媒の注入量が $1\mu\text{l}$ 以下であっても、これがそのままイオン化室に導入されると、質量分析計に必要な高真空が保てなくなる。そのため、GC-MS分析では試料を注入した後、溶媒がカラムから流出し終わるまで、セパレーターとイオン化室の間を閉じておくために特別なバルブが必要である。このバルブの構造もGC-MS分析計の良否を決定する重要な要素となる。

### 3-2 装置の構成

GCから分離されて流れ出る成分はキャリアガスと一緒にいるから、ガス圧は大気圧(約 $1.5 \times 10^5 \text{Pa}$ )付近であり、一方、マススペクトロメーターのイオン源は $10^{-3} \text{Pa}$ ( $10^{-5} \text{mm Hg}$ )以下の低圧であることを要し、キャリアガスを除去する必要がある。このガス除去装置がヘリウムセパレーターであり、GCとマススペクトロメーターの中間結合部に装着され、GC-MSのインターフェイスともいわれる。

GCにはキャピラリーカラムを用いることもできるが、キャピラリー法ではガス流量が微少であり、マススペクトロメーターのイオン源で微少のヘリウムガスは取り除かれるから、ヘリウムセパレーターを通さずに直接結合する方法もある。キャピラリー法以外でも、GCのカラムから流出した成分を単に減圧するだけでマススペクトロメーターへ送り込む方法もある。いずれにしてもGCから出た成分の中、ヘリウムを除いて試料成分のみを効率よくマススペクトロメーターへ送り込むように考慮されている。

送り込まれた試料成分はマススペクトロメーターのイオン源にてイオン化され(各種のイオン化法があるが、通常は電子衝撃: electron ionization, EI法)、イオン源のすぐ後ろにあるイオン検出器(total ion monitoring: TIMまたはTIC)で検出され、レコーダーへ導かれてガスクロマトグラムが記録される。イオン流はさらに分析部(磁場)へ進み、イオンが質量により分けられイオンコレクターに到達し、試料成分のマススペクトルが記録される。以上がGC-MS装置の概略であり、図-10に示す。

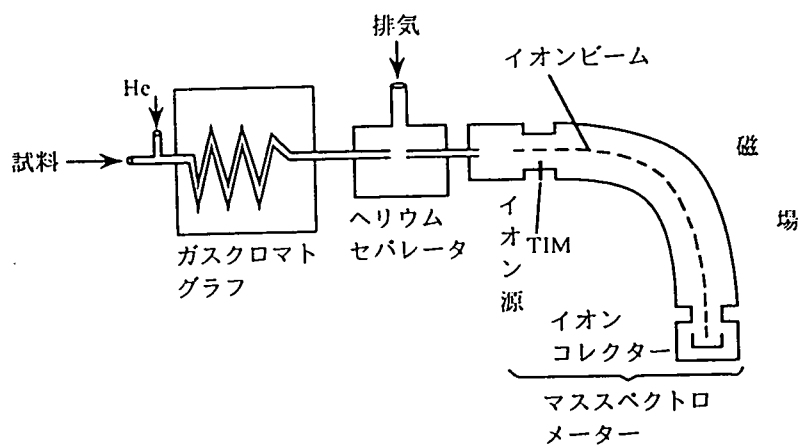


図-10 GC-MSの構成

### 3-2-1 カラム充填剤

GC-MS分析においては、基本的にはガスクロマトグラフィーにおいて用いるカラムと同様のカラムが使用できる。そのため、カラム作製上の注意点はガスクロマトグラフィーの場合と同様である。しかしながら、GC-MS分析において特に注意を要する点は、分析時における固定相液相\*<sup>6</sup>のカラムからの流出である。[\*<sup>6</sup>ポーラスポリマーを用いたカラムにおいても、ポリマーからの流出物によるバックグラウンドが大きいことがあるので要注意。] これは分析時のバックグラウンドを増大させ、マススペクトルを複雑なものとし、スペクトル解析を困難なものにする原因となる。そのため、分析用カラムの選択および温度設定には十分注意して、なるべく液相の流出の少ない状態で分析を行う必要がある。また、使用する液相のバックグラウンドのマススペクトルについて、あらかじめ十分な予備知識を持ってカラムを選択することが大切である。

### 3-2-2 GC-MSの測定

GC-MSの測定によって得られる情報は二つある。すなわち、時々刻々ガスクロマトカラムから流出し質量分析計のイオン化室でイオン化される物質の全イオンクロマトグラムと質量走査に伴うマススペクトルである。図-11は、これを模式的に示したものである。

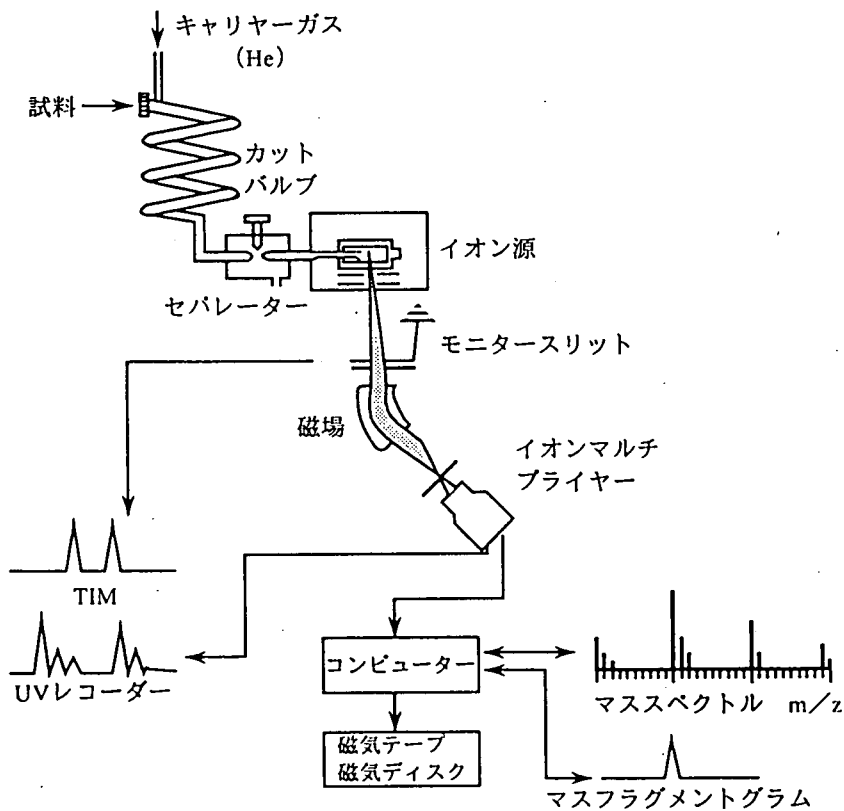


図-11 GC-MSコンピューターシステムによって得られる情報の概念図

TIMはモニタースリットで測定され、ペンレコーダーに記録される\*<sup>7</sup>。[\*<sup>7</sup>四重極質量分析計ではモニタースリットが存在しないので、全イオン量はマススペクトルの走査域において測定された各スペクトルのピークの高さの和に相当する量となる。このTIMクロマトグラムはしたがって再構成イオンクロマトグラム(reconstructed ion chromatogram, RIC)と呼ばれる。最近では、磁場型の質量分析計でもこの方式を採用して

いる機種が多い。) 一方、マススペクトルはコレクタースリットを経て、イオンマルチプレイヤーで測定され、UVレコーダー(UV:紫外線印画紙)に記録されるか、または、コンピューターを経由して磁気テープか磁気ディスクに記録される\*<sup>8</sup>。[\*<sup>8</sup>多成分を含む試料のGC-MS分析では、TIMクロマトグラムは成分数だけのピークを含む複雑なものになるため、保持時間軸上で数秒~十数秒の間隔できわめて多数の質量走査をする必要が生じる。その時得られるデータ量は膨大なものになるため、得られたデータをコンピューターにより磁気テープまたは磁気ディスクに収録しておき、測定終了後改めてデータ処理する方式が便利である。この方法はGC-MSコンピューターシステムとよばれている。]

図-12にGC-MSコンピューターシステムによる測定結果の一例を示す。

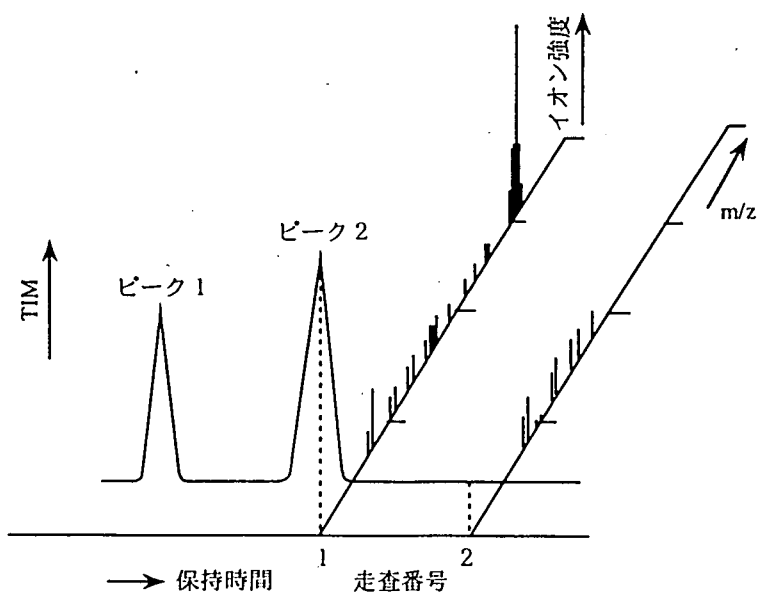


図-12 GC-MS測定結果の出力の概念図

縦軸が全イオン量であり、横軸が保持時間と質量走査番号、斜め軸には得られたマススペクトルを示している。ピーク2の化合物のマススペクトルは、質量走査1で得られたマススペクトルから質量走査2のバックグラウンドを差し引いたものとして得られる。

### 3-2-2 マスクロマトグラフィー

GC-MSの測定で磁気テープや磁気ディスクに収録された結果を基にして、任意の $m/z$ を選び出し、走査番号(ガスクロマトグラフィーの時間軸に対応)を横軸に、指定した $m/z$ のイオン強度を縦軸にとってプロットすると図-13のようなクロマトグラムが得られる。これはマスクロマトグラムと呼ばれており、この手法はマスクロマトグラフィー(mass chromatography, MC)と名付けられている。

マスクロマトグラフィーを用いることにより、図-13中のTIMクロマトグラムに見られるように重なり合っているピークでも、それぞれの化合物が互いに特徴的な $m/z$ を持っている場合は、それぞれの化合物を分離して検出し出力することが可能である。また、同族体に特徴的な $m/z$ を用いてマスクロマトグラフィーを行うと、その同族体



のみを他の共存化合物から分離して観察することも可能になる。

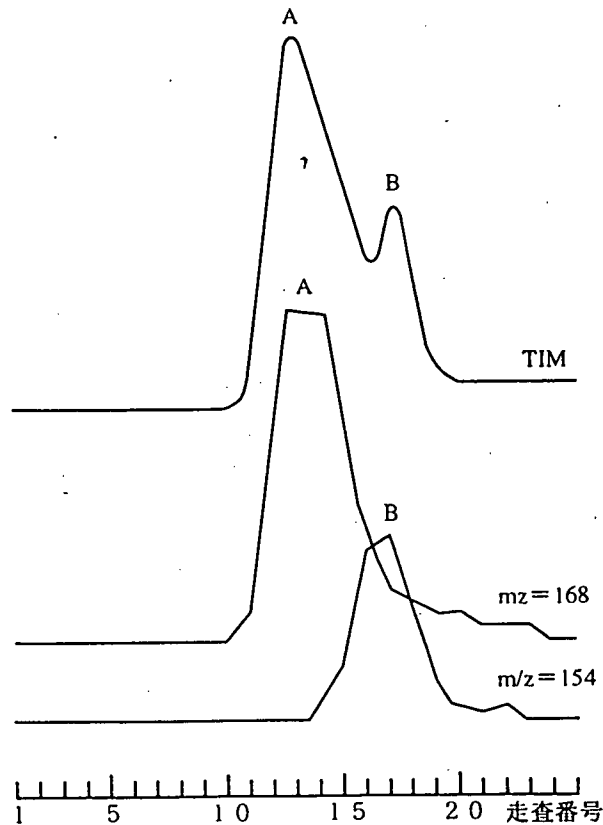


図-13 マスクロマトグラム

A : 3-メチルビフェニル (分子量 168), B : アセナフテン (分子量 154)  
、カラム : 3%OV-17 (60~80メッシュUniprt HP), 2mmφ×1mガラス  
カラム, 温度 : 140℃, キャリヤーガス : He (20 ml/min)。

### 3-2-3 マスフラグメントグラフィー

マスフラグメントグラフィー(mass fragmentgraphy, MF)では、分析しようとする化合物のマススペクトルのパターンを前もって測定しておき、この化合物のある任意の $m/z$ だけが検出できるように電場または磁場を設定しておく。その後、GC-MSに試料を注入すると、カラムで分離された流出物は質量分析計内でイオン化され固有のイオンを生成する。この流出物中に目的とする化合物があれば、設定された $m/z$ イオンが出現し、検出器によって検知される。この場合、クロマトグラムの保持時間もその化合物に固有なものであるため、たまたま分析目的化合物と同じイオンを生じる化合物があっても保持時間の違いがあれば区別が可能である。また、同じ保持時間を持つ化合物でも、それが異なるフラグメントイオンを有する場合は測定にかかってこない。

マスクロマトグラフィーは、磁気テープなどに収録されたデータを基にして、任意の $m/z$ について再度クロマトグラムを作る方法であった。この方法では、一つの収録されたデータから必要とする $m/z$ を自由に設定できる利点がある反面、おのおののデータは速い質量走査の結果得られたものであるため、各イオンについて正味の測定時間が短く検出感度が低い。また一つの測定と次の測定の間には質量走査に必要とされる時間間隔があり、データ点が不連続になるため定量的データを得ることが難しい。これに対し

て、マスフラグメントグラフィー<sup>\*9</sup> [<sup>\*9</sup> S I M(selected ion monitoring) ともいわれる。近年では、1回の測定に一つのイオンのみを設定する場合をS I D(single ion detection), 同時に数個のイオンを検出することができるようにした場合をM I D(multiple ion detection)として区別することもある。M I Dの場合では、測定は不連続であるが、各イオン間の切り替え時間を速く行えるように設計すれば、連続測定にはほぼ近い状態で分析できるため、高感度で定量的データを得ることができる。] ではm/zは固定されているため、単位時間間に検出器に入るイオン量が多くなるため、感度が高く<sup>\*10</sup>、かつ測定は連続的であるため定量性にすぐれたデータが得られる。

[<sup>\*10</sup> 感度は化合物と機種により多少異なるが、現在では $10^{-9}$ ~ $10^{-1}$  gまでの検出が可能である。]

#### 4. おわりに

ガスクロマトグラフ分析およびガスクロマトグラフ-質量分析において大切なことは、目的成分を高感度、高精度、正確さそして迅速分析することであり、そのためには、機器の分析原理を事前に十分理解しておく必要があることは当然であるが、どのような試料について、どのような成分を分析するかで、その目的に最も適したGCと検出器の組合せ、そしてどのようなカラム(充填剤)を選択するかが重要な要素となるので、特にこの2点についてはよく知っておく必要がある。また、ガスクロマト分析では、試料は気化しやすい化合物に誘導体化する必要があることも念頭におくこと。

それと、分析機器は高価なものが多くそれなりの価値はあるが、現実には機器に対する投資の費用と、その機器から得られる情報の価値との兼ね合いで、機器の購入を決定しなければならない。たとえば現状の水質環境基準値(定量下限値)を満足させる分析値を得る目的であれば、高価な二重収束型質量分析計を用いなくとも四重極質量分析計で十分目的を達成することが出来るのである。

#### [参 考]

各メーカーによるGC-MSの価格等の比較

| メーカー名    | 分析部  | 価格(価格にはP&T濃縮導入装置含む) |
|----------|------|---------------------|
| 島津製作所    | Qマス型 | 1,640万円 (約500万円)    |
| 横河商事     | "    | 1,540" "            |
| バリアン     | "    | 1,900" "            |
| フィニガン・マツ | "    | 1,500" "            |
| 日本電子     | 磁場型  | 3,000" "            |

東海3県の販売実績は、横河、島津に二分されるようであるが、水質関係機関には、主要機器としてフィニガン・マツ社製のイオントラップ式GC-MS装置が設置されているようである。その理由としては、高性能四重極の技術と超高感度イオントラップ

検出器の技術を組合せたことにあるようである。

### 検出器の価格の比較

| 検出器<br>メーカー名 | 水素炎イオン<br>化検出器<br>(FID) | 電子捕獲<br>検出器<br>(ECD) | 炎光光度型<br>検出器<br>(FPD) | アルカリ熱イ<br>オン型検出器<br>(FTD) |
|--------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| 島津製作所        | 45万円                    | 44万円                 | 99万円                  | 45万円                      |
| 横河商事         | 33万円                    | 63万円                 | ————                  | 42万円                      |
| 日本電子         | 40万円                    | 60万円                 | 90万円                  | 45万円                      |
| フィニガン・マツト    | 32万円                    | ————                 | 94万円                  | 57万円                      |
| バリアン         | 50万円                    | 90万円                 | 200万円                 | 60万円                      |

### 3. 地層科学研究関連技術開発成果

#### (1) 調査機器開発

B-1 1,000m対応水理試験装置の開発

B-2 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の開発

B-3 チタンケーシングパイプの設計

B-4 試錐孔間水理試験装置の製作

B-5 大深度対応地下水の長期モニタリング装置のインターフェースの設計

#### (2) 調査技術の改良・高度化

B-6 ハイドロフォンVSP調査法技術開発

B-7 試錐孔用広帯域レーダープローブの適用試験

B-8 比抵抗トモグラフィデータ解析技術開発

B-9 高比抵抗岩盤における比抵抗トモグラフィデータ取得時の留意点

#### (3) 試錐掘削技術開発

B-10 試錐掘削技術に関わる動向調査

B-11 試錐掘削技術に関わる文献調査

B-12 DH-3号孔における孔曲がり測定結果

## B-1 1,000m対応水理試験装置の開発

B-1 1,000m対応水理試験装置の開発  
- 1,000m対応水理試験装置の第2回適用試験 -

竹内 竜史, 田村 雅彦  
豊嶋 賢治, 中野 勝志

### 1. はじめに

本業務は、地層科学研究の調査技術・機器開発の一環として、地表から掘削した試錐孔を利用して、深度1,000mまでの岩盤の水理特性を精度良くかつ迅速に把握するための調査機器を開発するものである。

1,000m対応水理試験装置（タイプI）は、平成3年度から平成6年度にわたって設計・製作・孔内性能試験および第1回適用試験を実施した。平成7年度には、正馬様洞AN-1号孔において第2回適用試験を実施したので、試験結果などについて報告する<sup>1)</sup>。なお、本適用試験の詳細は報告書「1,000m対応水理試験装置の第2回適用試験(PNC ZN7410 96-048)」にまとめられている。

### 2. 試験目的

第2回適用試験は下記のことを目的として実施した。

- (1)1,000m対応水理試験装置が備える透水試験手法（水位回復法、パルス法、定流量揚水試験）の測定範囲と測定精度を把握し、各試験手法の実用性を現場試験を通して確認すること。
- (2)新しく考案した間隙水圧の推定手法の適用性を把握すること。
- (3)装置の改善点を抽出し第2号機の設計に反映させること。

### 3. 実施内容

正馬様洞AN-1号孔を利用して、調査機器の適用試験を実施した。

第2回適用試験で実施した内容は、以下の通りである。

- (1) 1,000m対応水理試験装置の透水係数の測定範囲と測定精度に関する事前検討  
透水係数の測定範囲や測定精度を支配する試験装置の構造的な要因（配管系の圧力損失・パッカー圧の安定時間・圧力センサーの精度など）を把握した上で、試験開始時の最大水頭差・最長試験時間など実際の現場調査を考慮して設定した基本的な試験条件を下に、各透水試験方法の透水係数の測定範囲と測定精度について検討した。
- (2)現場試験による各透水試験方法の実用性の確認  
①の検討結果を基に、各透水試験法の測定範囲の重複部分に相当する透水係数を有する岩盤を選択して、同一区間で繰り返し複数の透水試験を実施し、得られた試験結果より各試験法の実用性に関して検討した。
- (3)間隙水圧の推定手法の適用性の把握  
新たに考案した2種類の間隙水圧の推定手法（定常推定法、非定常推定法）を現場試験において実施し、その適用性について検討した。

#### 4. 試験結果

(1)実際の現場調査を考慮し設定した試験条件の下で、試験装置の構造的な要因が実測データに及ぼす誤差を一定の範囲内（約30%）に止めるように、各透水試験法の測定範囲に関する検討を行い図-1に示す結果を得た。

#### (2)各試験手法の比較・検討

試験装置が備える各透水試験手法を測定範囲の重複する3深度で実施した。各試験における実測データの一例を図-2に示し、それぞれの実測データから算定した透水係数の値を表-1に示す。

表-1に示すようにそれぞれの試験から算定された透水係数の値はほぼ一致した。このことから、試験装置による各試験手法の実用性が確認された。

#### (3)間隙水圧の推定手法

定常推定法における実測データの一例を図-3に示す。推定結果は、個人誤差が小さく、実測値と推定値との差も数cm～数10cm程度であり、間隙水圧を迅速に推定できる可能性が示唆された。

非定常推定法における実測データの一例を図-4に示す。実測データはバラツキが大きく、実測値と推定値との差は数m程度となった。この結果から、現段階での適用は困難であることが明らかとなった。

両手法による間隙水圧の推定結果を表-2に示す。

#### 5. 主な成果

(1)事前検討により、1,000m対応水理試験装置の透水係数の測定範囲は、 $10^{-4}$ cm/secオーダーから $10^{-10}$ cm/secオーダーまでであることを確認した。

(2)現場試験において、1,000m対応水理試験装置が備える3種類の試験手法を同一区間で繰り返し実施して透水係数を算定した結果、ほぼ一致した結果を得た。この結果により、試験装置が備える各試験手法の実用性が示された。

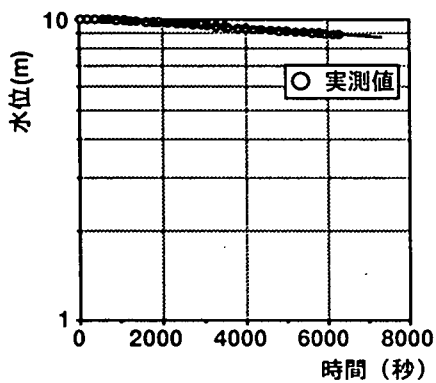
(3)間隙水圧の定常推定手法に関しては、迅速に間隙水圧を把握できる可能性が示唆された。一方、非定常推定手法に関しては、現段階での適用は困難であることが明らかとなった。

#### 6. 参考文献

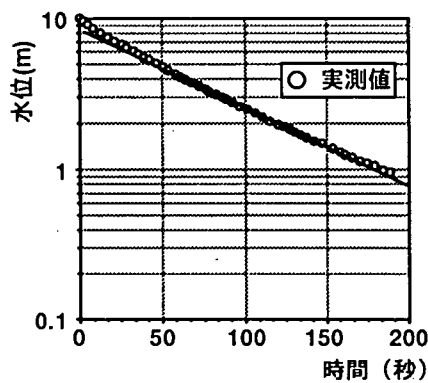
- 1)動力炉・核燃料開発事業団(1996)：1,000m対応水理試験装置の第2回適用試験,  
PNC ZN7410 96-048

| 試験方法    |     | 透水係数 (cm/s) |            |           |           |           |           |           |           |
|---------|-----|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|         |     | $10^{-11}$  | $10^{-10}$ | $10^{-9}$ | $10^{-8}$ | $10^{-7}$ | $10^{-6}$ | $10^{-5}$ | $10^{-4}$ |
| 水位回復法   |     |             |            |           |           | ■         | ■         | ■         | ■         |
| パルス法    | 従来法 |             | ■          | ■         | ■         | ■         |           |           |           |
|         | 迅速法 | ■           | ■          | ■         | ■         |           |           |           |           |
| 定流量揚水試験 |     |             |            |           | ■         | ■         | ■         | ■         | ■         |

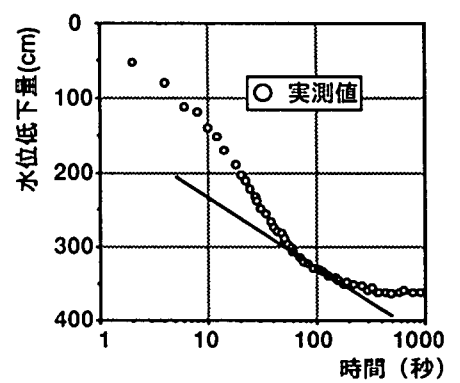
図-1 各透水試験手法における透水係数の測定範囲



(a) 水位回復法



(b) パルス法



(c) 定流量揚水試験

図-2 各透水試験手法における実測データの一例

表-1 各試験手法の試験結果

|         | 透水係数 (cm/sec)      |                    |                    |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
|         | 第1深度               | 第2深度               | 第3深度               |
| 水位回復法   | —                  | —                  | $5 \times 10^{-7}$ |
| パルス法    | $7 \times 10^{-8}$ | $6 \times 10^{-8}$ | $3 \times 10^{-7}$ |
| 定流量揚水試験 | $3 \times 10^{-8}$ | $3 \times 10^{-8}$ | $4 \times 10^{-7}$ |



図-3 間隙水圧の定常推定手法の実測データの一例

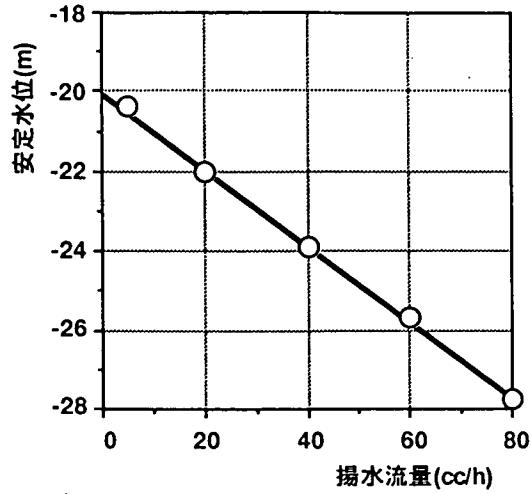


図-4 間隙水圧の非定常推定手法の実測データの一例

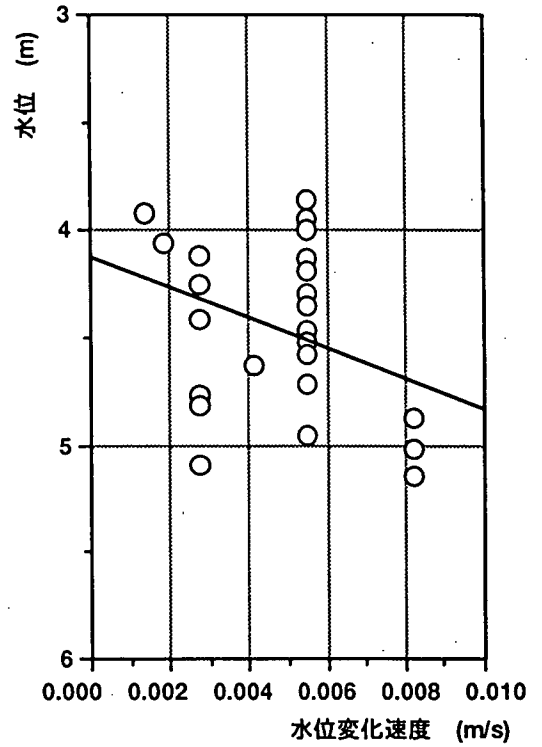


表-2 間隙水圧の推定結果

|      | 定常法(G.L.- m) | 非定常法(G.L.- m) | 実測値(G.L.- m) |
|------|--------------|---------------|--------------|
| 第1深度 | -20.05       | -22.88        | -19.54       |
|      | -20.13       | -17.46        |              |
|      | -19.95       | -23.40        |              |
|      | -20.10       | -19.75        |              |
| 第2深度 | -19.65       | -17.72        | -19.70       |
|      | -19.75       | -21.13        |              |
|      | -19.65       | -21.10        |              |
|      | -19.75       | -18.38        |              |
| 第3深度 | -19.07       | -20.97        | -19.86       |
|      | -18.97       |               |              |
|      | -19.07       | -23.02        |              |
|      | -19.02       |               |              |

B-1 1,000m対応水理試験装置の開発  
－発熱防止型バルブの設計と試作・実験－

田村雅彦, 中野勝志

## 1.はじめに

1,000m対応水理試験装置（タイプI）に採用した電磁バルブは通電時に自己発熱し、その中には100℃以上に達するものもあることが確認されている。標記試験装置は地下水温度50℃まで対応できることを開発仕様としたが、今後より高温環境へ対応する試験装置を開発するためにはバルブの自己発熱を極力抑えることが重要である。

このような課題を解決するために、自己発熱を極力抑える構造の電磁バルブと電動バルブの設計・試作と室内試験を行った。

本稿では、その実施内容と成果について報告する。なお、設計と試作・実験の詳細は報告書「発熱防止型バルブの試作と実験」にまとめられている。

## 2.設計仕様

発熱防止型電磁バルブ（以下、電磁バルブ）と発熱防止型電動バルブ（以下、電動バルブ）の設計仕様を以下に示す。

### (1)電磁バルブ

- ①連続稼働しても極力発熱しない構造であること。
- ②オリフィス径：φ1.4mm
- ③φ55mmの円筒内に納められる大きさであること。
- ④バルブの遮水性能は以下に示す条件を満たしていること。  
最大ライン圧：150kgf/cm<sup>2</sup>  
最大差圧：30kgf/cm<sup>2</sup>
- ⑤入力電源：DC24V
- ⑥バルブの駆動方法：電磁コイル式

### (2)電動バルブ

- ①連続稼働しても極力発熱しない構造であること。
- ②オリフィス径：φ6.5mm
- ③φ55mmの円筒内に納められる大きさであること。
- ④バルブの遮水能力は以下に示す条件を満たしていること。  
最大ライン圧：150kgf/cm<sup>2</sup>  
最大差圧：30kgf/cm<sup>2</sup>
- ⑤入力電源：DC24V
- ⑥バルブの駆動方法：電動モーター式

## 3.発熱防止型バルブの設計・試作

### (1)電磁バルブ

当初、設計仕様に沿って電磁バルブの設計を行った結果、差圧を遮断するために必要な密着荷重が不足していることが明らかとなった。このために、再度設計を見直したところ、コイルの吸引力を得るための磁路に、リターン用スプリングがあり、鉄芯断面積

を十分に確保できていないことが判明した。よって、鉄芯断面積を広く確保するためにリターン用スプリングを鉄芯のバルブシートと反対側に移動させる構造へ変更した。

#### (2)電動バルブ

設計仕様に沿って電動バルブの設計を行った結果、バルブプラグの停止位置を決定するためのピンの強度不足により、これが変形する可能性のあることが判明した。このため、設計を見直してピンをブロックタイプへ変更し、強度を向上させた。

### 4.室内実験

#### (1)実験方法

設計・試作を行った発熱防止型バルブについて、以下に示す4項目の室内実験を行った。

##### ①飽和温度上昇値の測定（電磁バルブ）

両バルブポートを大気圧開放した状態で電磁バルブに通電し（バルブ閉鎖）、電磁バルブの、定常からの飽和温度上昇値と環境温度を連続測定・記録する。設定した通電電圧は12V, 18V, 24V, 30V, 36V の5点である。

##### ②遮水能力の確認（電磁バルブ・電動バルブ）

バルブを閉鎖した状態で、高圧側ポートに150kgf/cm<sup>2</sup>、低圧側ポートに120kgf/cm<sup>2</sup>の水圧を加える。水圧値を連続測定・記録して圧力伝搬の有無から遮水能力を確認する。但し、水圧に対して配管などに馴染みがあるため、実際には10kgf/cm<sup>2</sup>程度余分に加圧する。

##### ③作動トルクの測定方法（電動バルブ）

バルブの両ポートから水圧150kgf/cm<sup>2</sup>以上を加圧し、バルブを開閉するときに必要なトルクを測定する。作動トルクは、バルブ開閉に必要な力をバネ秤で測定してトルクに換算する。

##### ④消費電流値の測定（電磁バルブ・電動バルブ）

設計上の印加電圧におけるバルブの消費電流値を調べるため、バルブの両ポートから水圧150kgf/cm<sup>2</sup>以上を加圧し、バルブ開閉時に電磁バルブのコイルと電動バルブのモーターに流れる電流値を測定する。電流値は消費電流をリニアに表示する電源装置から読み取った。

#### (2)実験結果

##### ①飽和温度上昇値の測定結果

前項で述べた方法で電磁バルブに通電し、その時の温度上昇値を測定した。この結果、各電圧とも通電開始と同時にバルブの温度が上昇し、6.5時間から8時間で飽和に達し、以降は通電停止まで平衡状態を保った（表-1参照）。

##### ②遮水能力の確認結果

###### ・電磁バルブ

測定開始段階で高圧側・低圧側の両ポートにそれぞれ174kgf/cm<sup>2</sup>、123.6kgf/cm<sup>2</sup>の水圧を加えた。両ポートの水圧は時間の経過とともに、温度変動の影響を受けながら変化し、約35時間後に156kgf/cm<sup>2</sup>、123kgf/cm<sup>2</sup>となった。この後、両ポートの水圧は環境温度の変化に追従しながら低下し、43時間後にはそれぞれ147.6kgf/cm<sup>2</sup>、

121.6kgf/cm<sup>2</sup>となり差圧は30kgf/cm<sup>2</sup>を下回った。しかし、48時間後に環境温度が上昇すると両ポートの水圧も追従して変動し、159.2kgf/cm<sup>2</sup>, 128kgf/cm<sup>2</sup>となった。

#### ・電動バルブ

測定開始段階で高圧側、低圧側の両ポートにそれぞれ162kgf/cm<sup>2</sup>, 130kgf/cm<sup>2</sup>の水圧を加えた。両ポートの水圧は時間の経過と共に、温度変動の影響を受けながら48時間後には157kgf/cm<sup>2</sup>, 126kgf/cm<sup>2</sup>となった。

#### ③作動トルクの測定結果(電動バルブ)

前項で述べた方法で電動バルブの開放・閉鎖に必要なトルクを測定した。その結果を表-2に示す。この結果に対して、採用したモーター・減速機の発生する最大トルクは8.46kgf-cmであり、測定結果を上回ることから、加圧状態でもバルブの開閉は可能であることが明らかとなった。

#### ④消費電流値の測定結果(電磁バルブ・電動バルブ)

前項で述べた方法でバルブ開閉時に、電磁バルブのコイルと電動バルブのモーターに流れる電流値を測定した。表-3にその結果を示す。但し、電磁バルブについては繰り返し測定しても電流値は一定となったが、電動バルブについては作動中の電流値にばらつきが見られた。

## 5.まとめ

前項で記述した4項目の室内試験から、以下の結論を得た。

### (1)電磁バルブについて

電磁バルブの自己発熱量は飽和温度上昇値の測定結果が示すように9.8～56℃であった。現在の水理試験装置に採用された交流電磁バルブの自己発熱量(60～100℃)と比較すると、約50℃の発熱が抑えられている。遮水能力に関しても環境温度に追従する圧力変動が認められたが第2章で示した仕様の遮水能力は十分に満足するものであった。但し、30kgf/cm<sup>2</sup>の差圧を長時間遮断し続けると、バルブシートのシリコンゴムが固定極にくい込み、通電停止後も解除できない場合があることが確認され、今後改善策を検討する必要がある。

### (2)電動バルブについて

電動バルブの発熱要素はモーターだけであり、その発熱量も長時間連続稼働させない限り無視できる量であった。遮水能力に関しても実験結果から判断して、差圧30kgf/cm<sup>2</sup>以上でも十分に遮水できることを確認した。

## 6.参考文献

(1)大成基礎設計株式会社(1995)：1,000m対応水理試験装置の発熱防止型バルブの設計

(2)大成基礎設計株式会社(1996)：発熱防止型バルブの試作と実験

表-1 飽和温度測定結果

| 電圧(V) | 最高温度(℃) | 環境温度(℃) | ※1 温度上昇値(℃) |
|-------|---------|---------|-------------|
| 36    | 73      | 17      | 56          |
| 30    | 57.5    | 14      | 43.5        |
| ※2 24 | 43.7    | 14      | 29.7        |
| 18    | 32      | 13.2    | 18.8        |
| 12    | 22.8    | 13      | 9.8         |

※1 温度上昇値= 最高温度- 環境温度

※2 設計上の印加電圧

表-2 作動トルクの測定結果

|      | open(kg-cm) | close(kg-cm) |
|------|-------------|--------------|
| 1    | 7.52(6.58)  | 7.52(6.11)   |
| 2    | 7.52(6.58)  | 7.52(6.11)   |
| 3    | 7.52(6.58)  | 7.52(6.11)   |
| 4    | 7.52(6.58)  | 7.52(6.11)   |
| 5    | 7.52(7.05)  | 7.52(6.39)   |
| ave. | 7.52(6.67)  | 7.52(6.17)   |

※停動トルク(連続作動トルク)

表-3 消費電力値の測定  
(電磁バルブ)

| ライン圧力                  | close(mA) |
|------------------------|-----------|
| 152kgf/cm <sup>2</sup> | 158       |
| 180kgf/cm <sup>2</sup> | 159       |

表-4 消費電流値の測定

- 電動バルブ:150kgf/cm<sup>2</sup> -

- 電動バルブ:190kgf/cm<sup>2</sup> -

|      | open(mA)    | close(mA)   |
|------|-------------|-------------|
| 1    | 523(468)610 | 532(480)610 |
| 2    | 573(472)610 | 518(470)605 |
| 3    | 542(486)604 | 533(488)604 |
| 4    | 547(488)610 | 537(482)603 |
| 5    | 533(482)603 | 553(495)603 |
| ave. | 537(479)606 | 535(483)607 |

|      | open(mA)    | close(mA)   |
|------|-------------|-------------|
| 1    | 572(515)617 | 524(501)603 |
| 2    | 572(523)609 | 523(508)599 |
| 3    | 542(520)608 | 560(512)594 |
| 4    | 581(523)607 | 557(522)590 |
| 5    | 563(524)581 | 552(514)582 |
| ave. | 565(521)597 | 543(511)594 |

※停動時(連続作動時) 停止時

B-1 1,000m対応水理試験装置の開発  
-高温環境型(タイプⅡ)1,000m対応水理試験装置の開発-

中野 勝志, 竹内 竜史, 田村 雅彦

## 1. はじめに

本業務は、地層科学研究の調査技術・機器開発の一環として、地表から掘削した試錐孔を利用して、深度1,000mまでの岩盤の水理特性(透水係数や比貯留係数など)を測定できる装置(1,000m対応水理試験装置)の高温環境型を開発するものである。

1,000m対応水理試験装置(タイプⅠ 耐熱性能:50℃)の開発は、平成3年度から平成5年度にわたって実施し、平成6年度に第1回適用試験、平成7年度に第2回適用試験を終了した。平成7年度には、耐熱性能の向上(70℃)などを目指した高温環境型1,000m対応水理試験装置の設計を実施したので、装置の概要などを以下に報告する<sup>1)</sup>。なお、設計の詳細は報告書「1,000m対応水理試験装置(高温環境型)の設計(PNC ZJ7439 96-002)」にまとめられている。

## 2. 実施内容

### 2.1 設計条件

高温環境型1,000m対応水理試験装置(タイプⅡ)の設計においては、以下の3つの条件を設定した。

- (1)装置の適応温度を最大70℃まで拡大する。
- (2)装置の測定精度の向上を図る。
- (3)装置の操作性・機動性・耐久性の向上を図る。

### 2.2 装置の設計

平成7年度は、高温環境型の試験装置を開発する上で、最も重要な部分である電子基板のシステム設計と回路設計、および孔内部の制御回路系と装置構造に関するシステム設計を実施した。1,000m対応水理試験装置(タイプⅠ)と高温環境型1,000m対応水理試験装置(タイプⅡ)の基本仕様と設計仕様の比較表を表-1、表-2に示す。

## 3. 今後の予定

- (1)平成8年度に上記設計に基づき、高温環境型(タイプⅡ)の製作を実施する。
- (2)超高温環境型(タイプⅢ 100℃)の開発に着手する。
- (3)超深地層研究所計画などの調査に活用する。

## 4. 参考文献

- 1)大成基礎設計株式会社(1996):1,000m対応水理試験装置(高温環境型)の設計,  
PNC ZJ7439 96-002

表-1 基本仕様

| 2号機の設計仕様   | 1号機の設計仕様                                  | 目的         |
|--|---|------------|
| 適応深度 : 深度1,000m                                  | 深度1,000m                                  | ・現存装置の性能維持 |
| 適応孔径 : $\phi 75\sim 100\text{mm}$                | $\phi 75\sim 100\text{mm}$                | ・現存装置の性能維持 |
| 最大外径 : $\phi 70\text{mm}$ 以下                     | $\phi 60\text{mm}$ 以下                     | ・材料強度の向上   |
| 耐温度性能 : $70^{\circ}\text{C}$                     | $50^{\circ}\text{C}$                      | ・耐温度性能の向上  |
| 耐圧性能 : ライン圧, 外圧<br>共 $150\text{kgf}/\text{cm}^2$ | ライン圧, 外圧<br>共 $150\text{kgf}/\text{cm}^2$ | ・現存装置の性能維持 |
| 地下水位低下限界 :<br>GL- 300mまで                         | GL- 300mまで                                | ・現存装置の性能維持 |

表-2 各部の設計仕様

| 2号機の設計仕様   | 1号機の設計仕様  | 目的                      |
|--|---|-------------------------|
| 耐温度 $70^{\circ}\text{C}$ 対応型電子基板   | 耐温度性能 $50^{\circ}\text{C}$  | ・耐温度性能の向上               |
| 定常法の試験機能<br>・注水機能の付加<br>・脈動の低減   | 定常揚水試験  | ・試験データの相互補完<br>・測定精度の向上 |
| 現存装置の測定区間用バルブは電動バルブに変更   | ——  | ・測定精度の向上                |
| 現存装置の遮水パッカー拡張用バルブは<br>発熱防止型電磁バルブに変更<br>あるいは<br>孔内部を、緊急時に遮水パッカーが確実に収縮できる構造とした上で、電動バルブに変更  | ——  | ・測定精度の向上                |
| トリップバルブの廃止   | ——  | ・孔内部構造の簡素化              |
| 試験圧力測定用差圧計の背圧調整用バルブの設置   | ——  | ・測定精度の向上                |
| 試験区間長の統一   | 150~250cm   | ・試験条件の統一                |
| 発熱体の放熱による電子基板、圧力計への影響を低減できる内部構造  | ——  | ・測定精度の向上                |
| パッカー圧力監視用差圧計<br>・定格容量<br>ライン圧 : $150\text{kgf}/\text{cm}^2$<br>差 圧 : $\pm 15\text{kgf}/\text{cm}^2$<br>・許容負荷 : 150%以上<br>・精 度 : $\pm 0.5\%$ 以内 | ・最大圧力 :<br>$150\text{kgf}/\text{cm}^2$<br>・差 圧 :<br>$\pm 10\text{kgf}/\text{cm}^2$<br>・精 度 :<br>FS 1%以内 | ・圧力監視機能の向上              |

| 2号機の設計仕様            | 1号機の設計仕様 | 目的                              |
|---------------------|----------|---------------------------------|
| 個々のユニット長：5m以下       | ——       | ・機動（運搬）性の向上                     |
| BTV機能の集中格納          | ——       | ・操作性の向上<br>・孔内部構造の簡素化           |
| 発熱体への温度計の設置         | ——       | ・温度監視機能の向上                      |
| 遮水パッカーの材質：耐熱材料      | 天然ゴム     | ・耐温度性能の向上                       |
| 分解点検が容易なインナーパッカーの構造 | ——       | ・メンテナンス性の向上                     |
| マイケル用ドラムの速度調整装置の設置  | ——       | ・送り出し・巻き取り速度を調整可能とする<br>・操作性の向上 |
| BTV用深度検出装置の付加       | 音声入力     | ・操作性の向上                         |



## B-2 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の開発

B-2 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の開発  
- AN-1号孔における現場適応試験結果 -

濱 克宏、瀬尾 俊弘、豊嶋 賢治

## 1. はじめに

本業務は、地層科学研究の調査技術・機器開発の一環として、地表から掘削した試錐孔を利用して、深度1,000mまでの地下水の地球化学特性を精度良くかつ迅速に把握するための調査機器を開発するものである。

1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器（1,000m対応採水装置・地球化学検層ユニット）の第1号機は、平成3年度から平成6年度にわたって設計・製作・孔内性能試験を実施した。平成6年度から平成7年度にかけて正馬様洞AN-1号孔において現場適応試験を実施したので、試験結果などについて報告する。なお、本適応試験の詳細は報告書「1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の適応試験(PNC ZJ7411 95-004)」および「地球化学検層ユニットの適応試験(PNC ZJ7422 95-002)」にまとめられている。

## 2. 試験目的

現場適応試験は下記のことを目的として実施した。

- ①1,000m対応採水装置と地球化学検層ユニットを組み合わせ使用し、深度1,000m程度の環境下で正常に作動することを確認すること。
- ②本調査機器の適応条件や耐久性を把握すること。
- ③本調査機器を用いた調査手順を確立すること。
- ④装置の改善点を抽出し第2号機の設計に反映させること。

## 3. 実施内容

正馬様洞試験サイトAN-1号孔を利用して調査機器の適応試験を実施した（表1）。  
具体的には以下の手順で試験を行った。

- (1)試錐孔内への装置の挿入・設置
- (2)パッカー拡張
- (3)連続採水・物理化学パラメータ連続計測
- (4)バッチ式採水
- (5)パッカー収縮
- (6)装置の回収

パッカーの遮水性能を確認する指標として、連続採水およびバッチ式採水作業中に採取した試料水の化学分析も行った。

## 4. 試験結果

- (1)地下水の採水およびパッカー遮水性能

試験期間を通じてパッカー圧力の低下は認められなかった（図1）。また、連続採水、バッチ式採水両者とも調査に則した性能を有することを確認した。

## (2)物理化学パラメータ・化学成分濃度測定

測定結果の例を図2, 3に示す。地球化学検層ユニットを用いたpH測定値およびCaイオン濃度測定値は、採水量200ℓ付近で一定値に収束している。このことから地球化学検層ユニットは掘削水の除去の確認に使用できかつ、原位置における物理化学パラメータ測定機能を有することが確認できた。

## 5. 主な成果

- (1)本調査機器を用いた調査手順を確立した(図4)。
- (2)既存の調査機器(アンビリカルホースシステムなど)では不可能であった深度1,000mレベルの地下水の採取および原位置における物理化学パラメータの測定が可能となった。

## 6. 参考文献

- 1) 基礎地盤コンサルタント株式会社(1995): 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の適応試験, PNC ZJ7411 95-004
- 2) 株式会社環境技術研究所(1995): 地球化学検層ユニットの適応試験, PNC ZJ7422 95-002
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団(1992): AN-1号孔におけるアンビリカルホースシステムの水理試験および地下水採水結果, PNC PN7510 92-007

表1. 現場適応試験の概要

|        |                          |
|--------|--------------------------|
| 試験期間   | 190日間                    |
| 採水区間   | G.L.-966~973m            |
| 岩相     | 花崗岩                      |
| 採水区間体積 | 27 L                     |
| 地下水温   | 35°C                     |
| 間隙水圧   | 92kgf/cm <sup>2</sup>    |
| 透水係数   | 約10 <sup>-7</sup> cm/sec |

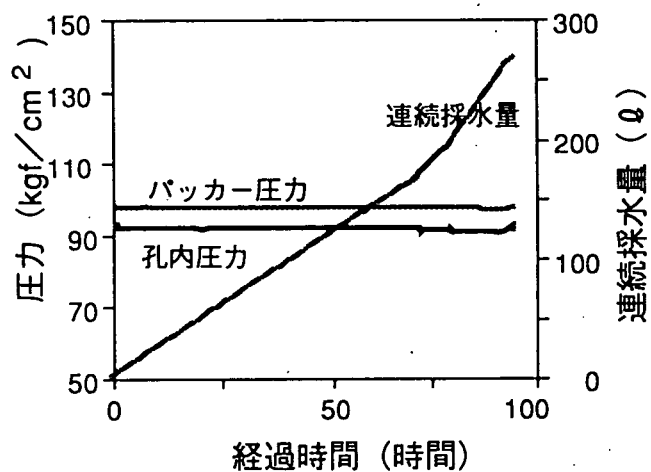


図1. 現場適応試験結果

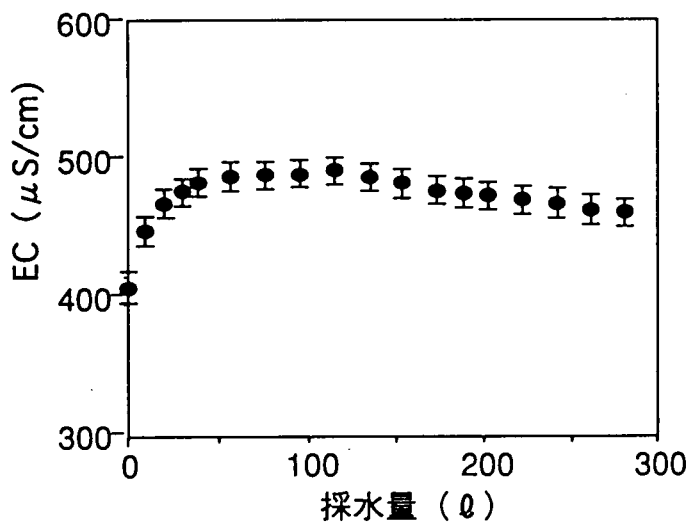


図2. 電気伝導度測定結果

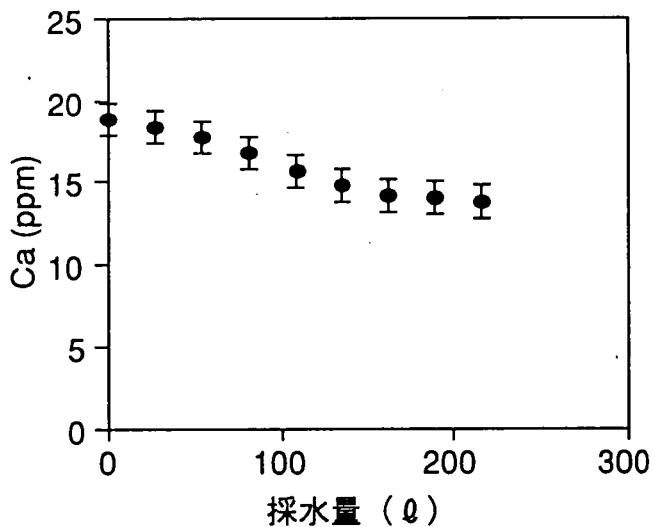


図3. Caイオン濃度測定結果

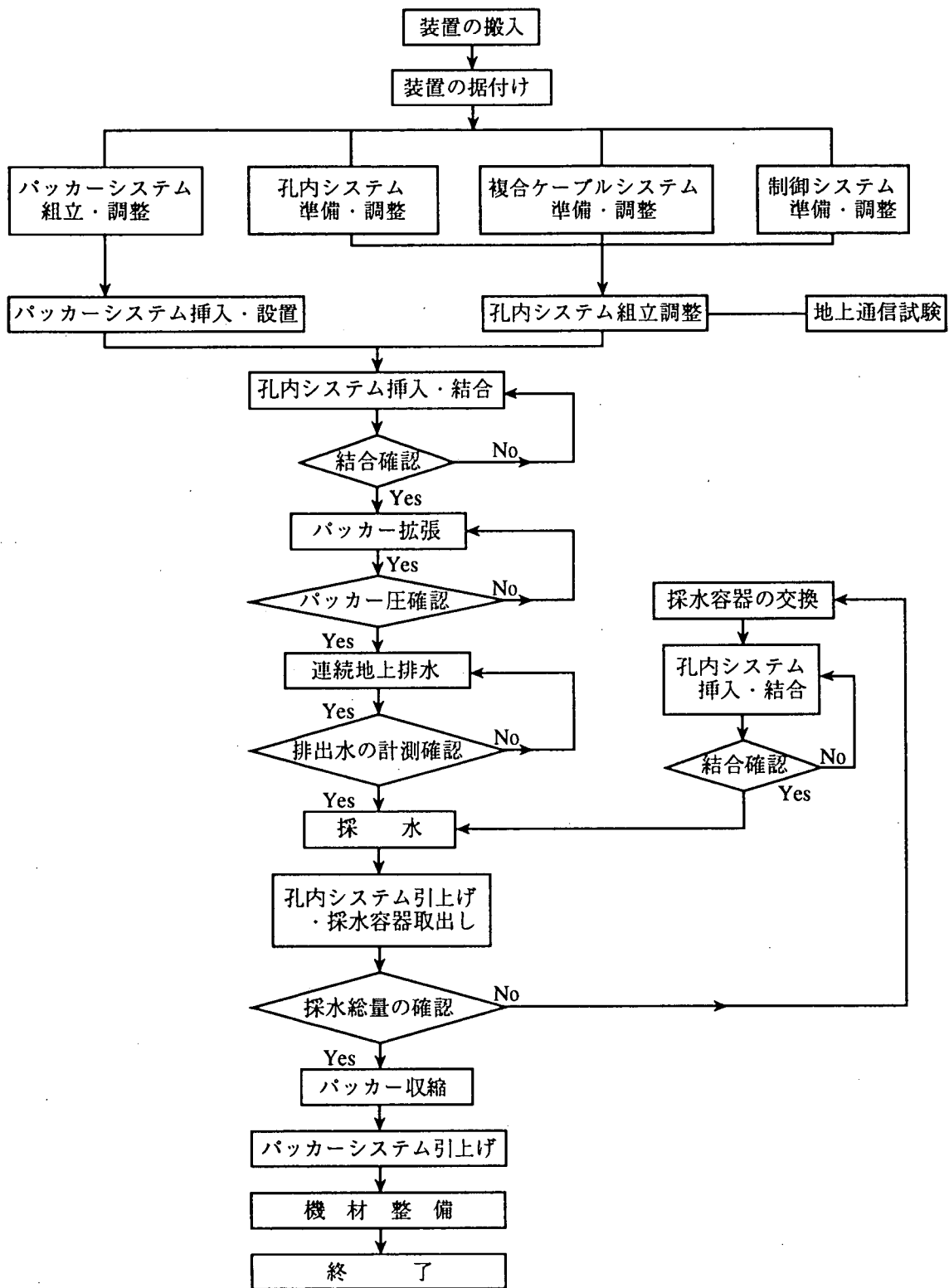


図4. 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器を用いた調査手順

## B-2 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の開発 －高温環境型（タイプII）地球化学検層ユニットの設計－

濱 克宏, 瀬尾 俊弘, 豊嶋 賢治

### 1. はじめに

本業務は、地層科学研究の調査技術・機器開発の一環として、地表から掘削した試錐孔を利用して、深度1,000mまでの地下水の物理化学パラメータ（pH、酸化還元電位(ORP)、電気伝導度(EC)、水温(T)、硫化物イオン濃度(pS))を測定できる装置（地球化学検層ユニット）の高温環境型を開発するものである。

地球化学検層ユニットの第1号機（耐熱性能：50℃）の開発は、平成3年度から平成5年度にわたって実施し、平成6年度には現場適応試験を終了した。平成7年度には、耐熱性能の向上（70℃）などを目指した高温環境型地球化学検層ユニットの設計を実施したので、装置の概要などを以下に報告する。なお、設計の詳細は報告書「地球化学検層ユニット（高温環境型）の設計(PNC ZJ7422 96-001)」にまとめられている。

### 2. 実施内容

#### 2.1 設計条件

高温環境型地球化学検層ユニット（第2号機と呼ぶ）の設計においては、以下の4つの条件を設定した。

- (1)装置の適応温度を最大70℃とする。
- (2)センサー部内容積を可能な限り少なくする。
- (3)装置の保守・点検を容易に行えること。
- (4)装置の小型・軽量化を図る。

#### 2.2 装置の設計

第2号機の基本仕様を表1に示す。平成7年度には、高温環境型にするために最も重要な部分である、物理化学パラメータ測定センサー、センサーを収納するセンサー部、アンプ基板の設計を実施した。第1号機と比較して大きく仕様が変更された部分を表2に示す。

### 3. 今後の予定

- (1)平成8年度に高温環境型地球化学検層ユニットの製作・性能試験を実施する。
- (2)耐熱性の向上（約100℃）などを旨とした3号機の設計・製作を実施する。
- (3)開発した調査機器を超深地層研究所計画などに活用する。

### 4. 参考文献

- 1) 株式会社環境技術研究所(1996)：地球化学検層ユニット（高温環境型）の設計, PNC ZJ7422 96-001
- 2) 株式会社環境技術研究所(1994)：地球化学検層ユニットの製作, PNC ZJ7422 94-001  
PNC ZJ7422 94-001

表1. 高温環境型地球化学検層ユニットの基本仕様

|      |   |
|------|---|
| 適応深度 | G.L.-1,000m                             |
| 適応孔径 | φ 75mm~130mm                            |
| 適応温度 | 0~70℃                                   |
| 測定項目 | pH, 酸化還元電位, 電気伝導度<br>硫化物イオン濃度, 水温, 間隙水圧 |

表2. 地球化学検層ユニットの性能比較表

| 項目          | 第1号機              | 第2号機                         |
|-------------|-------------------|------------------------------|
| 適応温度        | 0~50℃             | 0~70℃                        |
| ユニット<br>内容積 | 約500ml            | 約200ml                       |
| pHセンサー      | ガラス電極—<br>参照電極個別型 | ガラス電極—参照<br>電極複合型<br>プリアンプ内臓 |

## B-2 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の開発

### —高温環境型（タイプⅡ）採水装置の開発—

豊嶋 賢治, 濱 克宏, 瀬尾 俊弘

#### 1. はじめに

本業務は、地層科学研究の調査技術・機器開発の一環として、地表から掘削した試錐孔を利用して、地表から地下深部までの地下水の地球化学特性を、正確にかつ迅速に把握するために、深度1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器を開発するものである。

平成6年度に同調査機器（タイプⅠ）の製作および孔内性能試験を終了し、平成6～7年度に現場適用試験を行った。平成7年度は高温環境型（以下タイプⅡ）の設計を実施したので仕様などを報告する。なお、設計の詳細は報告書「1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器（高温環境型）の設計(PNC ZJ7411 96-002)」にまとめられている。

#### 2. 実施内容

タイプⅠの開発経験を基に、適応環境条件の拡大と操作性の向上を目指したタイプⅡの設計を実施した。

##### 2. 1 基本仕様

より過酷な温度条件下で調査可能とするために、孔内部の耐温度性能を向上させる。

（以下⇒はタイプⅠからタイプⅡへの改良点である）

|             |  |
|-------------|--|
| 適応孔径        | : $\phi 75\sim 130\text{mm}$                             |
| 孔内システムの最大外径 | : $\phi 57\text{mm}$ 以下                                  |
| 耐温度性能       | : $50^{\circ}\text{C}\Rightarrow 70^{\circ}\text{C}$     |
| 耐圧性能        | : ライン圧 $150\text{ kgf/cm}^2$<br>外圧 $150\text{ kgf/cm}^2$ |

##### 2. 2 各部の仕様

タイプⅠの開発経験を基に操作性、安全性を向上させる。

###### (1) 各ユニット共通

|            |   |
|------------|---|
| 複合コネクタ遮水性能 | : $0\Rightarrow 150\text{ kgf/cm}^2$ （ユニット間の保護） |
| 基板防水性能     | : $0\Rightarrow 150\text{ kgf/cm}^2$ （電子部品の保護）  |
| 部品の交換      | : 全体分解⇒単体分解（メンテナンスのしやすさ）                        |

###### (2) 結合ユニット

|      |                         |
|------|-------------------------|
| 結合機構 | : 無対策⇒スライム対策（結合性の向上）    |
| 回路構造 | : 無対策⇒圧力逃がし弁構造（内部回路の保護） |

###### (3) 採水ユニット

|        |                        |
|--------|------------------------|
| 採水駆動   | : スイッチ制御⇒変位計制御（操作性の向上） |
| 採水容器収納 | : U型構造⇒C型構造（材料強度の向上）   |

###### (4) 連続採水ユニット

|       |                      |
|-------|----------------------|
| ポンプ制御 | : 電圧制御⇒定流量制御（操作性の向上） |
|-------|----------------------|

###### (5) パッカーシステム

|        |                       |
|--------|-----------------------|
| パッカーゴム | : 天然ゴム⇒耐熱ゴム（耐温度性能の向上） |
|--------|-----------------------|



#### (6) 細型複合ケーブル

- 外 径 : 30.1mm⇒25mm以下 (操作性の向上、細型・軽量化)
- 全 長 : 1,050m⇒1,100m以上
- 重 量 : 1,100kg ⇒700kg 以下 (軽量化)
- 耐温度性能 : 50℃⇒70℃ (耐温度性能の向上)
- 内部水回路 : ナイロンホース⇒SUS パイプ (内部構造の強化、細型化)
- 先端部の構成 : 無対策⇒内部浸水防止 (機能の向上)  
無対策⇒基板の防水 (機能の向上)  
無対策⇒光ファイバーの防水 (機能の向上)

#### (7) 小型巻き取り装置

- ドラム径 :  $\phi$ 1,200mm ⇒ $\phi$ 900mm 以下 (小型化、軽量化)
- 縦 : 2,800mm ⇒2,300mm (小型化、軽量化)
- 横 : 2,100mm ⇒1,800mm (小型化、軽量化)
- 高 さ : 2,100mm ⇒1,700mm (小型化、軽量化)
- 重 量 : 4.2 トン⇒3.0 トン以下 (軽量化)
- 巻き取り機構 : 手動補正⇒段落ち調整機能 (機能の向上)
- 操作 : 挿入自動制御⇒挿入・巻き取り自動制御 (機能の向上)
- 引き込み角度 :  $\pm 5^\circ$  ⇒ $\pm 10^\circ$  以上 (操作性の向上)

### 3. 主な成果

- (1)1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の高温環境型 (タイプⅡ) の設計を終了した。本装置は図-1に示すように孔内部、中継部、地上部から構成され、表-1に示す基本性能を有する。

### 4. 今後の予定

- (1)平成8年度に上記設計に基づき、高温環境型 (タイプⅡ) の製作を実施する。
- (2)超高温環境型 (タイプⅢ 100℃) の開発に着手する。
- (3)超深地層研究所計画などの調査に活用する。

### 5. 参考文献

- 1) 基礎地盤コンサルタンツ株式会社(1996) : 細型複合ケーブルと小型巻き取り装置の設計, PNC ZJ7411 96-001
- 2) 基礎地盤コンサルタンツ株式会社(1996) : 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器 (高温環境型) の設計, PNC ZJ7411 96-002

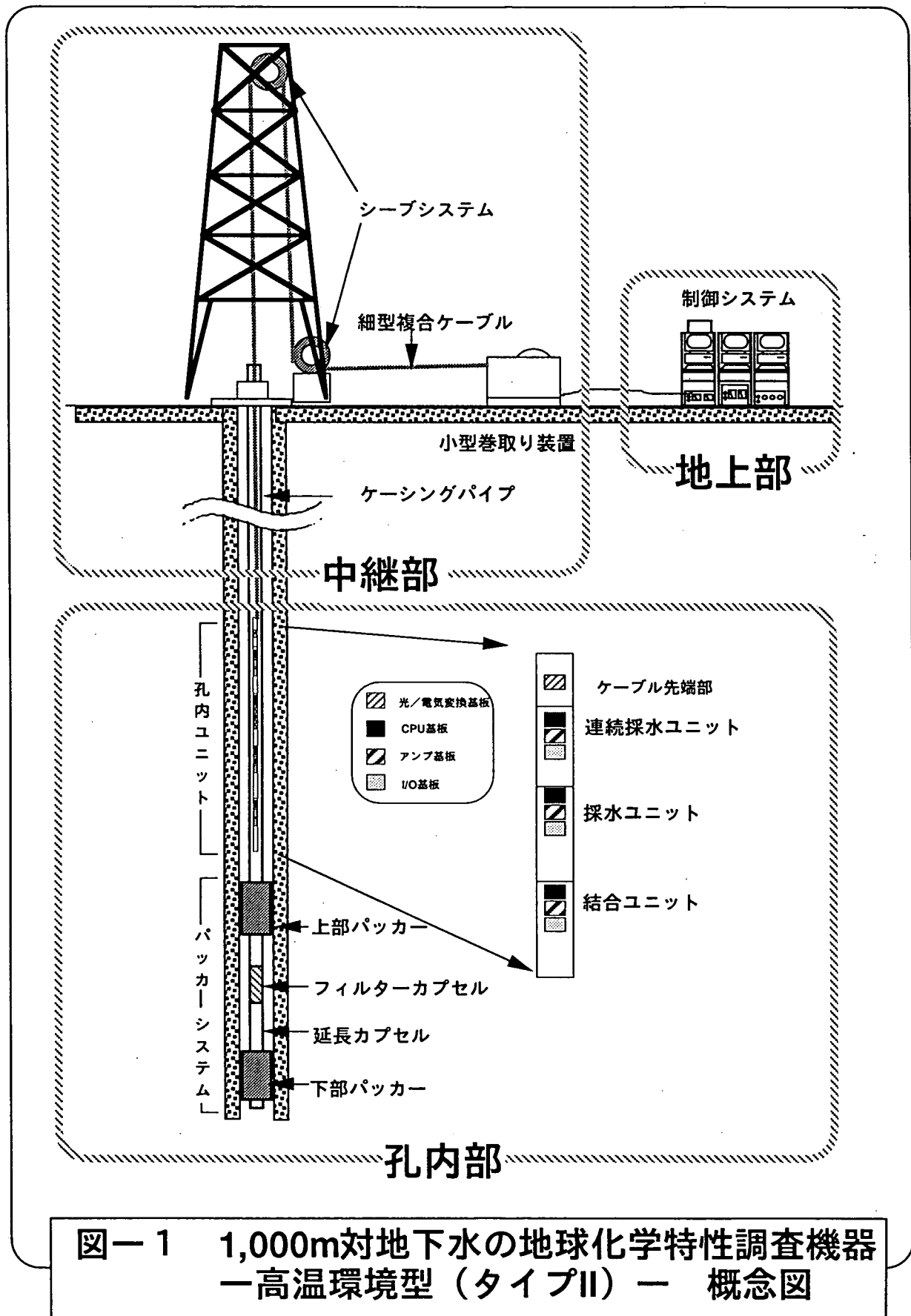
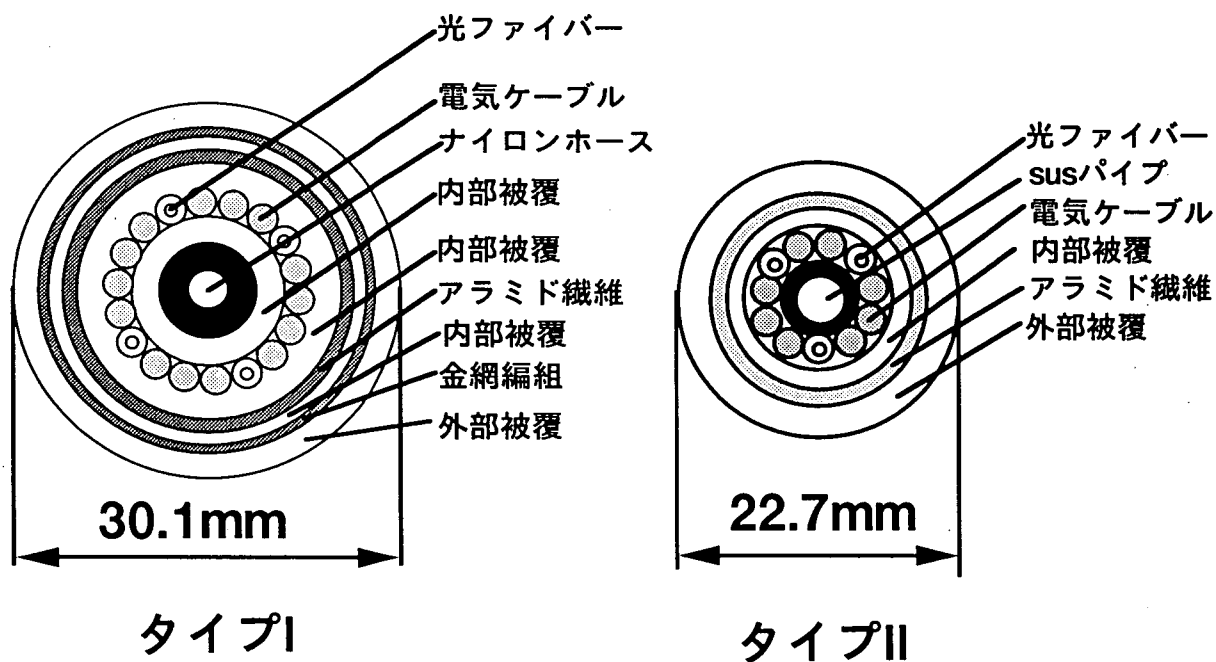


図-1 1,000m対地下水の地球化学特性調査機器  
—高温環境型 (タイプII) — 概念図

表一 1 装置の性能

|          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| 適応深度     | G.L.-1,000m                        |
| 適応孔径     | φ 75mm~130mm                       |
| 耐温度性能    | 0~70℃                              |
| 採水方式     | ポンプ式 (定流量制御)<br>バッチ式               |
| 採水量      | ポンプ式 : 最大100ml/分<br>バッチ式 : 500ml/回 |
| 挿入方式     | ケーシングシステム                          |
| 地下水位低下限界 | G.L.-300m                          |
| 測定項目     | 間隙水圧、パッカー圧力、<br>採水容器圧力、孔内水温        |



図一 2 複合ケーブルの細型化

## B-3 チタンケーシングパイプの設計

豊嶋賢治, 田村雅彦, 中野勝志

### 1.はじめに

地層科学研究における調査技術・機器開発では、ここ数年で1,000m対応水理試験装置（タイプⅠ）と1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器（タイプⅠ）の開発がなされ、現在は上述した調査機器の開発経験を基により優れた性能を持つ高温環境型の調査機器（タイプⅡ）の開発が進められつつある。これらの調査機器の開発では取得データの品質の向上や幅広い適応範囲を確保するための機能拡張や耐久性の向上に加え、実際の調査を考慮した操作性や機動性の向上も重要な開発課題である。

本稿では、上述した調査機器の操作性や機動性の向上に関する検討の一環として、それぞれの調査機器の中継部を構成するパイプ材料（ロッドとケーシングパイプ）に、これまで用いてきたステンレス材料に代わってチタン材料を用いて軽量化を試みた設計の結果について報告する<sup>1)</sup>。なお、設計の詳細は報告書「チタンケーシングパイプの設計」にまとめられている。

### 2.実施内容

#### (1)設計仕様

設計は現有装置のパイプ形状と室内実験により得られている引っ張り強度等の値を指標に3種類の基本ケースに分けて、今後開発を計画している調査機器の使用環境条件を考慮して以下に示す仕様を設定した。

#### 《基本ケースとその仕様》

- ①ケースⅠ：外径 $\phi$ 60.3mm以上, 内径 $\phi$ 70.0mm以下, 外観形状 ストレート型, 重量（3m長）12kg以下, 引っ張り強度 20ton 以上, 伸び（1,000m接続して吊り下げた状態）20cm以下
- ②ケースⅡ：外径 $\phi$ 36.0mm以上, 内径 $\phi$ 49.0mm以下, 外観形状 ストレート型, 重量（5m長）12kg以下, 引っ張り強度 20ton 以上, 伸び（1,000m接続して吊り下げた状態）20cm以下
- ③ケースⅢ：外径 $\phi$ 36.0mm以上, 内径 $\phi$ 49.0mm以下, 外観形状 継ぎ手部溶接型, 重量（5m長）12kg以下, 引っ張り強度 20ton 以上, 伸び（1,000m接続して吊り下げた状態）20cm以下

#### 《3ケースに共通の基本条件と使用環境条件》

##### ①基本条件

- ・材料にチタン合金または純チタンとチタン合金を組み合わせ使用する。
- ・製作は引き抜き加工のシームレス管を前提とする。
- ・地下水への影響を低減するために継ぎ手部には潤滑材を使用しない。

##### ②使用環境条件

- ・水圧：最大 150kgf/cm<sup>2</sup>    ・差圧：最大 $\pm$ 30kgf/cm<sup>2</sup>    ・水温：0～100℃
- ・水質：pH 6.5～9.5 まで, 塩素濃度：最大20,000ppm

## (2)設計

前項で示した仕様に基づいて設計を行い以下の結果を得た。

- ①各ケースとも形状（外径，内径），重量，引っ張り強度，伸びについては後述する材料を選択することにより計算上設計仕様を十分に満たす値を得た。

### 【各ケース毎の使用材料】

- ・ケースⅠ：ハーフチタン合金（3AL-2.5V-Ti）
- ・ケースⅡ：64チタン合金（6AL-4V-Ti）
- ・ケースⅢ：胴部⇒ハーフチタン合金，継ぎ手部⇒64チタン合金

この中でも重量に関しては、ケースⅠで現有パイプの7.74ton から3.97ton へ、ケースⅢで現有パイプの3.97ton から1.97ton へと48～51%の軽量化が図られることが明らかとなった。また、引っ張り強度に関しても現有パイプよりも向上することも明らかとなった。

- ②使用環境条件については、チタン合金そのものがステンレス材料よりも耐腐性に強いこともあり、設計上全く問題とならず現有パイプよりも格段に優れた耐久性を確保できることが明らかとなった。
- ③前項で示した基本条件についてはケースⅡで製作を考えた場合、全長引き抜き加工によるシームレス管の加工技術に克服困難な課題のあることが明らかとなった。具体的には、64チタン合金は展伸性が良くないことから全長引き抜き加工した場合、形状変形や強度低下をまねき、仕様を満たすことが困難となる。この対策としては、切削加工を取り入れてパイプを試作し、他の2ケースで採用した全長引き抜き加工のパイプと比較試験を実施して品質に問題がなければ採用することも考えられる。

## 3.おわりに

今回の設計により、ケースⅠとⅢを採用して1,000m対応水理試験装置と1,000m対応地下水の地球化学調査機器のパイプをチタン材料で製作できることが明らかとなり、この結果として現有のステンレスパイプに比べて約50%の軽量化が図られると共に、引っ張り強度や耐腐性も大きく向上できることが分かった。これらの成果は、今後開発を計画している調査機器へ有効に活用できるものである。しかしながら一方では、チタン材料はステンレス材料に比べてまだまだ高価であり（現段階の市場調査ではステンレスパイプに比べて1.5倍～2倍程度の予算が必要と考えられる）、今後の市場の動向を把握しつつ、試作実験などを経て複数台分のパイプを一括で製作するなどのコストダウンの方策も考えてゆく必要がある。

## 参考文献

- 1)住重田無機械株式会社(1996)：チタンケーシングパイプの設計

## B-4 試錐孔間水理試験装置の製作

## B-4 試錐孔間水理試験装置の製作

### —孔内部の観測区間とロッドおよび地上部の圧力パネルと計測補助装置の製作—

仙波 毅 , 竹内 竜史  
田村 雅彦, 中野 勝志

#### 1. はじめに

岩盤内の地下水の流れは、主たる流動経路となる割れ目の空間的な分布や水理特性（透水係数、貯留係数）に大きく依存する。また、単一割れ目内においても、不均一な開口幅の分布により、非常に偏った流れが生じていることが、ストリッパ鉱山の原位置試験などでも報告されている。岩盤の水理特性を把握するための試験として、JFT、ルジオン試験に代表されるような、単一の試錐孔を利用した水理試験が一般に広く用いられてきた。しかし、これらの方法では、注水区間周辺の岩盤の水理特性の評価は可能であるものの、上述した単一割れ目内での流動特性（水理学的な連続性、透水係数、比貯留係数）やその異方性についての情報を得ることは困難である。

以上のことから、最近では複数の試錐孔を利用した孔間水理試験が試みられるようになった。この中でも、注水圧力または流量を周期的に変化させる正弦波注水試験法は地下水圧の変動に伴うノイズの影響を受けにくい長所を有しており、孔間距離が長くなっても圧力応答を捕らえることができる可能性がある。

そこで、地層科学研究の調査技術および機器開発の一環として、坑道内に掘削した複数の試錐孔を利用し、坑道周辺の単一割れ目の透水係数、比貯留係数、透水異方性（単一割れ目内の流向）、間隙水圧などの水理学的特性を把握するために、上述した正弦波を用いた試錐孔間水理試験装置の開発に着手した。開発は、平成4年度に設計<sup>1)</sup>、平成5年度より3年計画で製作を行った<sup>2)</sup>・<sup>3)</sup>。製作の最終年度となる本年度は、孔内部の観測区間とロッドおよび地上部の圧力パネルと計測補助装置の製作に着手した。

なお、本件は、平成8年8月末までに完了する予定であり、今回は中間報告である。

#### 2. 実施内容

試験装置は、図-1に示すように、坑道内に設置する注水制御装置、計測装置、流量測定装置、圧力パネルと試錐孔内に設置する孔内装置（注水孔内用装置および観測孔内用装置）などから構成される。試験方法は、バックグラウンドの地下水圧の変動による影響を受けない正弦波（シヌソイダル）注水<sup>5)</sup>を採用した。また、定圧および定流量注水も行えるようにした。

平成7年度は、孔内部の観測区間とロッド、地上部の圧力パネルおよび計測補助装置を製作し、平成6年度までに製作が終了している部分も含め、装置全体の室内総合性能試験を実施する。装置の製作にあっては、試験装置の性能と現場での使いやすさ（大きさ、メンテナンスの容易さを含む）を十分に配慮するようにした。

##### 2.1 孔内部の観測区間の製作

孔内部の観測区間は、図-1のb、cに相当し、主観測区間と副観測区間に分けら



れ、本年度は、主観測区間1組と副観測区間4組を製作中である。これらの観測区間は、注水区間から発信された圧力を精度良く受信する機能を有し、パッカー、孔内圧力センサー、孔内温度・漏水センサーから構成される。

## 2.2 孔内部のロッドの製作

ロッドは、前年までに1mロッド、2mロッド各2本ずつ製作している。本年度は、孔内部を深度50m程度までに設置可能とするために、2mロッド38本、1mロッド8本を製作中である。

## 2.3 地上部の圧力パネルの製作

地上部の圧力パネルは、孔内圧力センサーの機能を補完するために、差圧センサー、絶対圧センサーおよびブルドン管圧力計、ならびに差圧センサーの背圧を安定に保つためのアキュムレーターと背圧を調整するための圧力調整設備から構成される。また、孔内部と地上部に安定な定格電源を供給するために定電圧電源装置と無停電電源装置を備える。これらは、防湿・防錆対策を施した移動用ラックに格納する。

## 2.4 計測補助装置の製作

計測補助装置は、ロッド保護キャップや移動用ケース、試錐孔での現場試験に必要な不可欠な櫓、ロッドホルダー、水タンクなどの補助的な装置である。これらの装置の製作に関しては、試験装置の保管・運搬および現場試験の安全性や効率性を留意するようにした。

## 2.5 室内性能試験

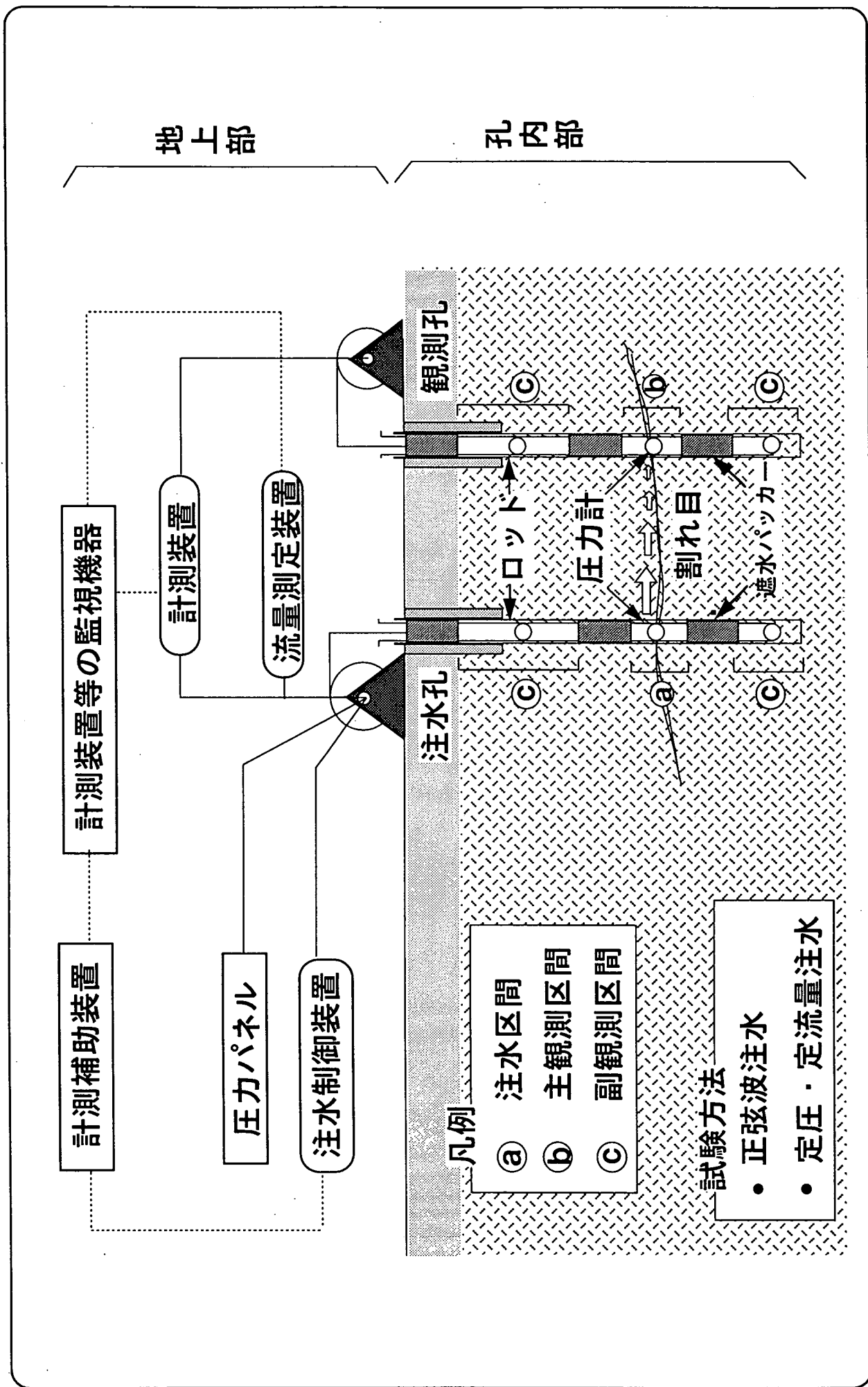
平成7年度製作実施分の製作終了後、所定の性能を有することを確認するために、室内において、今年度製作した部分および昨年度までに製作した部分と組み合わせた装置全体の室内総合性能試験を実施する。

## 3. 今後の予定

冒頭で述べたように、本装置の製作は平成8年度8月末日までに完了する予定である。製作が完了した後の平成8年9月から平成10年度においては、試験装置の性能と適用範囲を把握するために、現場試験を実施する計画である。

## 参考文献

- (1)大成建設(株) (1993) : 試錐孔間水理試験装置の設計、PNC ZJ7205 93-001
- (2)大成建設(株) (1994) : 試錐孔間水理試験装置の製作 (注水制御装置と孔内装置の注水区間の製作) , PNC ZJ7205 94-001
- (3)大成建設(株) (1995) : 試錐孔間水理試験装置の製作 (計測装置と流量測定装置の製作) , PNC ZJ7205 95-001
- (4)John H. Black et al. (1986): Crosshole Investigations - The method, theory and analysis of crosshole sinusoidal pressure tests in fissured rock, Stripa Project IR 86-03, SKB, Stockholm, Sweden



図一1 試錐孔間水理試験装置の概念図

## B-5 大深度対応地下水の長期モニタリング装置のインナープローブの設計

## B-5 大深度対応地下水の長期モニタリング装置のインナープローブの設計

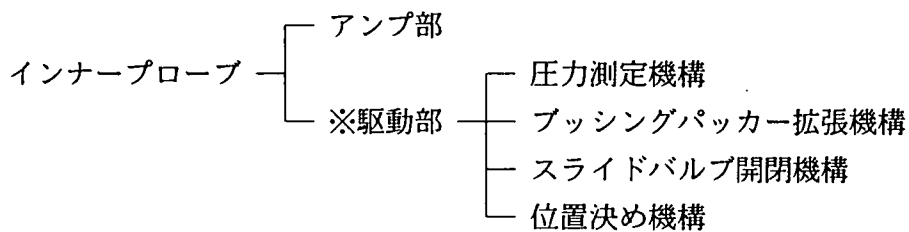
田村雅彦, 中野勝志

### 1.はじめに

地表から掘削した試錐孔において、地下深部岩盤の間隙水圧を精度良く、数年から十数年に亘り連続観測するために大深度対応地下水の長期モニタリング装置の開発が進められている。この装置は、立坑等の掘削前から掘削後にかけて大きく変化すると考えられる水理環境に柔軟に対処できる機能と、割れ目帯等でしばしば経験してきた大きな水位低下や水圧上昇が発生する場合でも間隙水圧の観測や地下水の採取が確実にできる機能を必要とする。

図-1に装置の概念を示す。この装置は、試錐孔内に多点式のダブルパッカーを備えたケーシングパイプを挿入して任意の深度で観測区間を設定した後、ケーシングパイプ内に差圧計を備えたインナープローブを挿入し、ケーシング管内水圧と観測区間の差圧を順次計測する方法を基本原理とする。

平成7年の業務は標記装置のうち、アンプ部を除くインナープローブを設計した。設計に際しては、分解・整備が簡便に行える構造、漏水に対する信頼性の向上、製作時のコストダウンに留意した。なお、インナープローブの機構は以下のように区分される。



※平成7年度に設計した部分

なお、本設計の詳細は報告書「大深度対応地下水の長期モニタリング装置のインナープローブの設計(PNC ZJ7439 95-006)」にまとめられている。

### 2.設計仕様

以下にインナープローブの設計仕様を示す。

- (1)外径：φ43mm以下
- (2)材質：ステンレス
- (3)パッカー：観測区間用ブッシングパッカー × 2  
固定用ブッシングパッカー × 1
- (4)パッカーの拡張方式：電動モーター式
- (5)位置合わせ機構

インナープローブのダブルパッカー部と計測ポートの位置を正確に合わせられ、確実に固定できる機能を有すること。

- (6)スライドバルブの開閉機構

インナープローブとケーシングを確実に固定して、インナープローブでスライドバルブを開閉できる機能を有すること。

### 3.設計内容

#### (1)圧力測定機構

圧力測定機構はケーシング管内水位と観測区間の差圧を測定するための機能を集約した部分で、差圧計を用いることにより高精度に間隙水圧を測定することができる。ただし、高差圧環境下において差圧計の破損を未然に防ぐことや遮水パッカーの拡張の際の圧力監視を考慮して絶対圧計も備える構造とした(図-2参照)。

また、インナープローブの圧力ラインを開放したうえでケーシング内部を加圧すると、ケーシングの遮水パッカーを拡張することもできる。

#### (2)ブッシングパッカー拡張機構

ブッシングパッカー拡張機構は、観測区間用ブッシングパッカーと、スライドバルブ開放時にプローブとケーシングを固定しておく固定用ブッシングパッカーの2つからなる。この2つのブッシングパッカーの拡張原理は同様に、拡張時にモーターによってラバーを押しつぶすもので、拡張のon/offは電流を制御することで行う(図-3参照)。

#### (3)スライドバルブ開閉機構

スライドバルブ開閉機構とはダウンホールユニット・計測ポート(スライドバルブ)を開閉するための機構で、計測ポートを開放するときは観測区間用ブッシングパッカーと固定用ブッシングパッカーを拡張した後、モーターによってプローブを伸ばして計測ポートを上方に押し上げて開放する(図-4参照)。

#### (4)位置決め機構の改良

位置決め機構とは、インナープローブをケーシング内の目的深度に導くための機構で平成7年度の改良設計では深度検出のため、リンクがロッドの内側に設けた溝を通過するたびに開く動きをホール素子で感知し、そのカウント数でプローブ位置を確認できる機構を追加した(図-5参照)。

### 4.まとめ

平成7年度の設計では(1)分解性・整備性の向上(2)漏水に対する信頼性の向上(3)製作時のコストダウンを特に考慮した。設計の結果を上述した項目に整理すると以下のようにまとめられる。

#### (1)分解性・整備性の向上

実用機を設計する場合には、運搬時等に行う分割と、整備時等に行う分解の両方を考慮する必要がある。このため、今回の設計ではアンブ収納部以下を2分割とし、分解整備の容易性を向上させた。

#### (2)漏水に対する信頼性の向上

最大使用深度が1000mであり、水圧が100 kgf/cm<sup>2</sup>であることから、配管などの漏水に対しても考慮し、継ぎ手などの配管材を極力減らすことで漏水に対する信頼性を高めた。

#### (3)設計・製作時のコストダウン

設計・制作費を削減するために、部品点数を減らすことで設計費を削減し、また部品の加工数を減らすことで制作費を削減できる構造とした。

## 5. 参考文献

大成基礎設計株式会社(1995)：大深度対応地下水の長期モニタリング装置のインナー  
プローブの設計, PNC ZJ7439 95-006

# データ収録装置

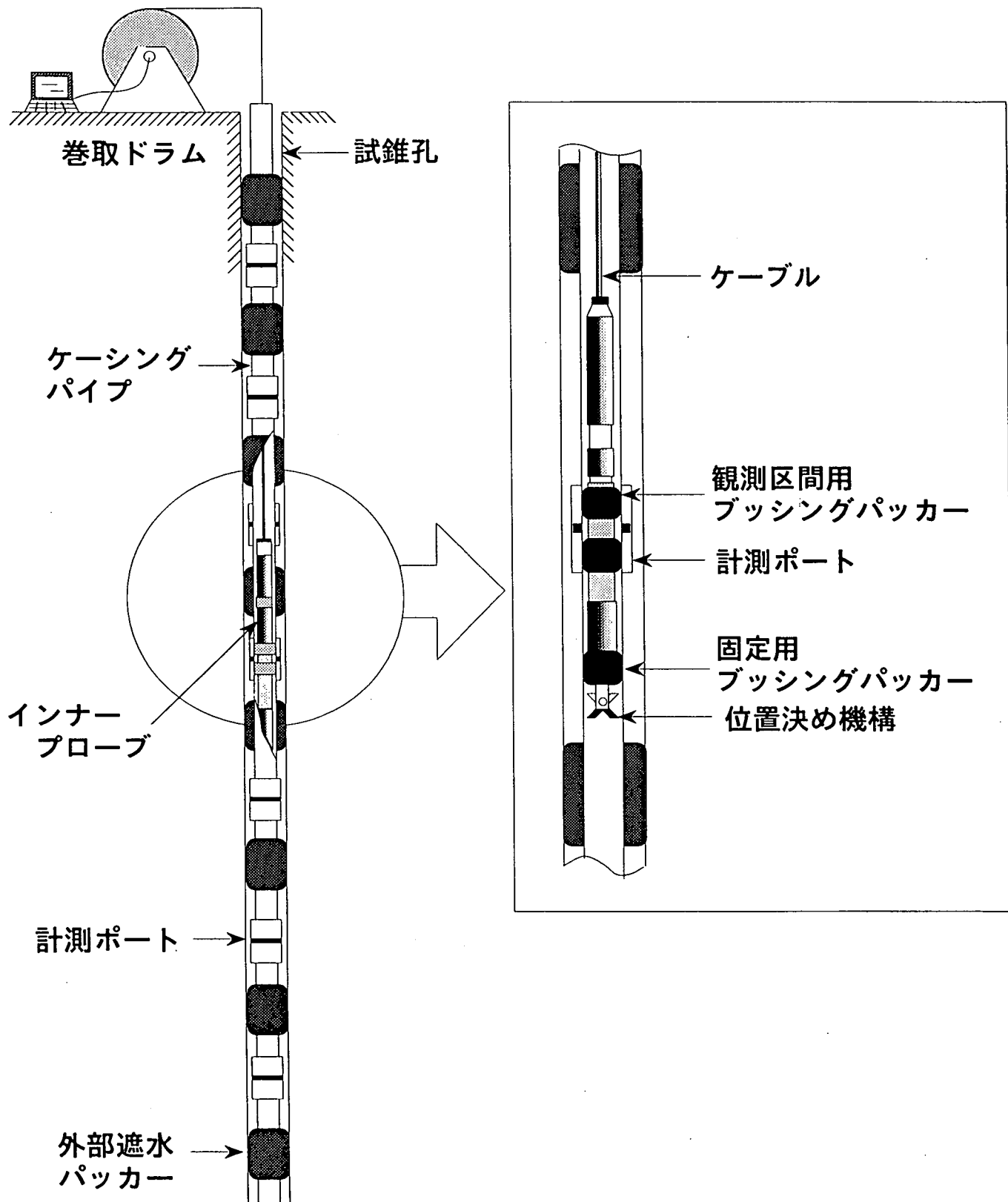


図-1 装置の概要

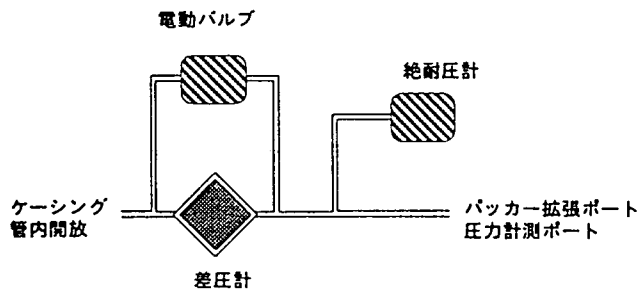


図-2 圧力測定機構

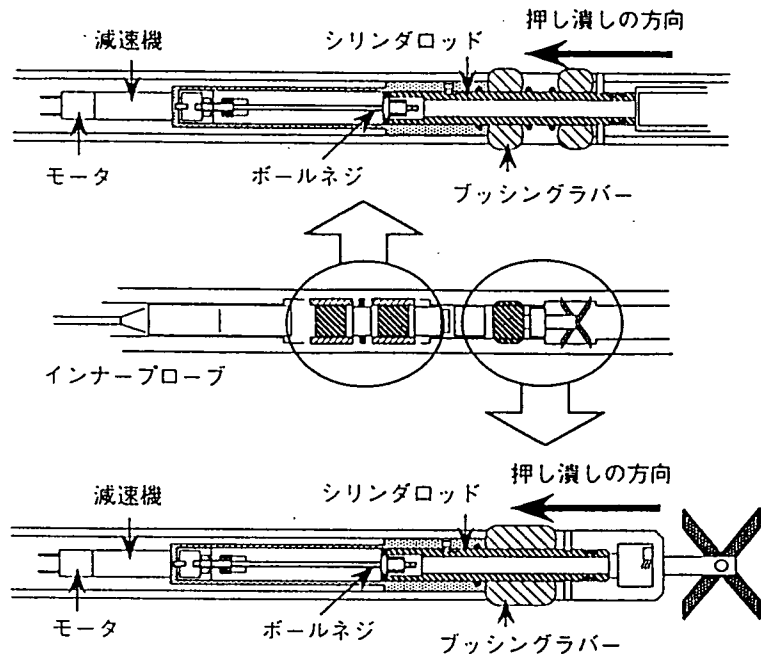


図-3 ブッシングパッカー  
拡張機構

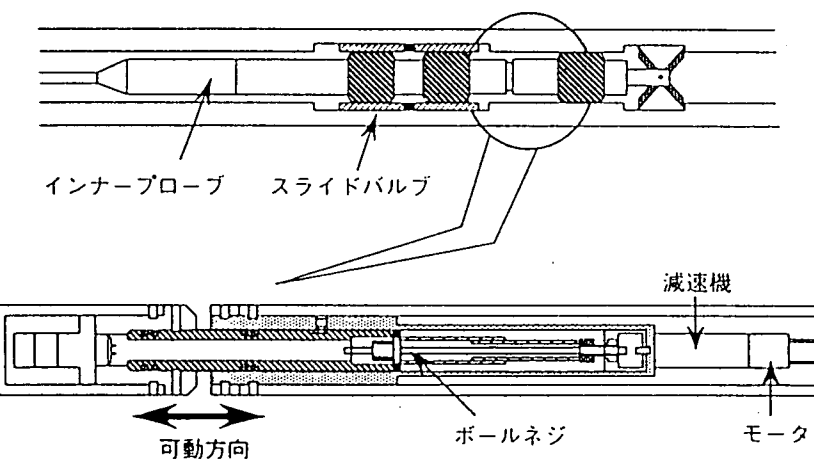


図-4 スライドバルブ  
開閉機構

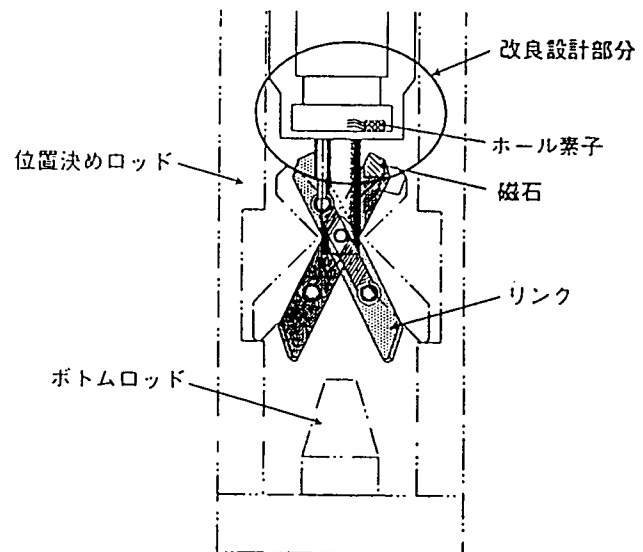


図-5 位置決め機構



## B-6 ハイドロフォンVSP調査法技術開発

## 1. はじめに

地層科学研究では、広域の地下水流動を解明することが重要なテーマの一つとなっている。結晶質岩では地下水は主にき裂に沿って流動すると考えられることから、地下のき裂に関する情報を的確に把握できる技術を開発するために、VSP調査技術について平成5年度から地質調査所と共同研究を実施することになった。

本共同研究では、S波VSP調査法およびハイドロフォンVSP調査法の適用試験を実施することとし、地質調査所が測定に必要な機器およびデータ解析技術を提供し、動燃が試験サイトおよびその地域の地質（主にき裂）に関する情報を提供することになった。そして、試験サイトについては、動燃・東濃地科学センターの正馬様洞試験サイトに深度1,000mの試錐孔（AN-1号孔）が土岐花崗岩中に掘削されていることから、正馬様洞試験サイトが本共同研究の試験場所として選定された。

ここでは、共同研究の第3年度（最終年度）の試験として実施した、ハイドロフォンVSP調査法の適用試験の内、機械式震源の適用性について概要を報告する。

ハイドロフォンVSP調査法は、P波がき裂に入射することで発生する、き裂中の水の圧力変化に起因するチューブ波を解析することにより、(1)き裂の検出、(2)き裂の3次元の広がり、(3)き裂の透水性の評価、を実施できる可能性のある数少ない手法の一つである。適用試験の目的は、本試験により得られたデータの解析結果とこれまでにAN-1号孔で実施されたき裂調査結果との対比、検討を行うことにより、解析結果の妥当性を検証するとともに本調査法の地層科学研究への適用性を評価することである。

昨年度に実施した適用試験から、(1)について透水性き裂と思われるき裂を検出できることが確認されており、(2)、(3)については現在データの解析を実施中であるが、本調査法の地層科学研究への適用性が明らかになりつつある<sup>1) 2)</sup>。

## 2. 目的

上述のような経緯を踏まえて実施した本年度の適用試験の目的は、ハイドロフォンVSP調査技術開発の一環として、本調査をより効率的にかつ安全に実施できるものとするために必要不可欠な機械式震源の適用性を評価することである。

## 3. ハイドロフォンVSP調査法の原理

震源から発生したP波が透水性のき裂に入射するとき裂が圧縮され、き裂内の地下水が試錐孔内に押し出されることによりチューブ波が励起される。チューブ波は試錐孔に沿って上方および下方に伝播し、これをハイドロフォンを用いて観測する。図-1にチューブ

波発生メカニズムを模式的に示す。

## 4. 実施内容

### 4.1 データの取得

試験は正馬様洞試験サイト・AN-1号孔およびその周辺の敷地を用いて行った。震源は火薬震源と機械式震源（ガードレール工業(株)製 オートハンマーWAH3400型）の2種類を使用した。火薬震源については、昨年度に使用した4つの発破用試錐孔に新たに1つを加えて、孔内でのダイナマイト発破によりP波を発生させた。機械式震源は2か所に配置し、重錘を地表に落下させることによりP波を発生させた。図-2に震源の配置図を示す。

ハイドロフォンは間隔を1mとしてAN-1号孔に設置した。表-1にそれぞれの震源で取得したデータの深度を示す。また、図-3に火薬震源および機械式震源を用いて取得したデータの一例を示す。各トレース上で、波の列が右上および右下方向に連続している部分がチューブ波の伝播を表している。

なお、データの取得は平成7年11月13日から11月21日までの9日間で行った。

### 4.2 火薬震源および機械式震源によるデータの比較

深度509mのデータを用いて、両者のデータの周波数および振幅を比較した。

中心周波数は、火薬震源によるデータが約200Hzであるのに対し、機械式震源によるデータは約50Hzであった。振幅は、機械式震源によるデータは火薬震源によるデータの約0.4倍であった。

このように、機械式震源によるデータは火薬震源によるデータと比較して、低周波、小振幅であることから、分解能は劣り、S/N比も良くないことがわかる。

### 4.3 データの処理・解析

データの処理・解析は地質調査所が行った。データの処理については、チューブ波の発生深度を求めるために以下の処理を行った。

- (1)トレースの編集（深度順に並べる）
- (2)スタッキング処理（機械式震源のみ）
- (3)ローカットフィルター処理（機械式震源のみ）

(2)および(3)のデータ処理を施した例を図-4に示す。データ処理によりチューブ波発生深度が読み取りやすくなっていることがわかる。このようにして求められたチューブ波の発生深度を表-2に示す。この結果より、機械式震源によるデータでも適当なデータ処理を行うことにより、火薬震源と同程度にチューブ波発生深度を求めることが可能である。また、一部チューブ波が求められていない深度については、震源の位置と透水性き裂の走向・傾斜との関係により、き裂を圧縮する力が働きにくく、チューブ波が発生しにくいことが原因として考えられる（図-5）。

## 5. まとめ

- (1)機械式震源によるデータは火薬震源によるデータと比較して、分解能は劣り、S/N比も良くないが、適当なデータ処理を行うことにより、火薬震源と同程度にチューブ波発生深度を求めることができた。
- (2)今回使用した機械式震源では調査可能な深度は500m程度であるが、透水性き裂が存在すると思われる深度を抽出することができたことから、ハイドロフォンVSP調査に機械式震源を適用することは可能である。

## 6. 今後の予定

- (1)これまでに取得したデータの解析を引き続き行い、透水性き裂の走向、傾斜、透水係数の推定を実施する。
- (2)推定値の検討を実施するため、走向、傾斜については、BTVデータとの対比を行う。透水係数については、BTVデータとの対比により特定された透水性き裂の内、代表的なものを選んで、そのき裂を対象とした水理試験を実施する。

## 参考文献

- 1)マルチオフセットハイドロフォンVSP調査法の亀裂性岩盤への適用試験(その1)  
(1995), 地質調査所/動燃事業団共同研究報告書 PNC PY7615 95-001
- 2)T. KIGUCHI, H. ITO, Y. KUWAHARA, T. MIYAZAKI, S. NAKAO, T. OMINATO, K. HASEGAWA, S. YABUUCHI, H. OOSAWA, Y. MITO and K. AOKI : Detection of Permeable Fractures in Granitic Rock by Hydrophone VSP - Case Study for Granitic Rock, Gifu Prefecture, Japan -, 3rd SEGJ/SEG International Symposium , pp164-171 .

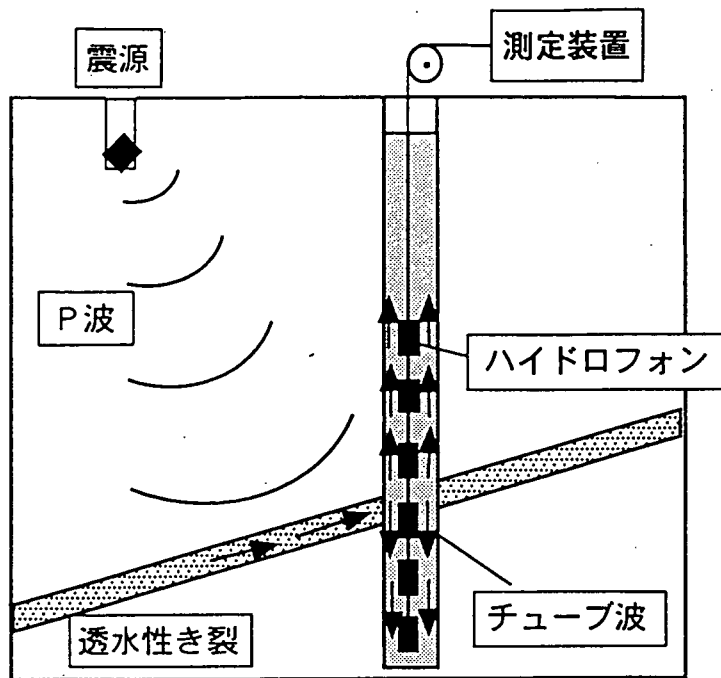


図-1 チューブ波発生メカニズム

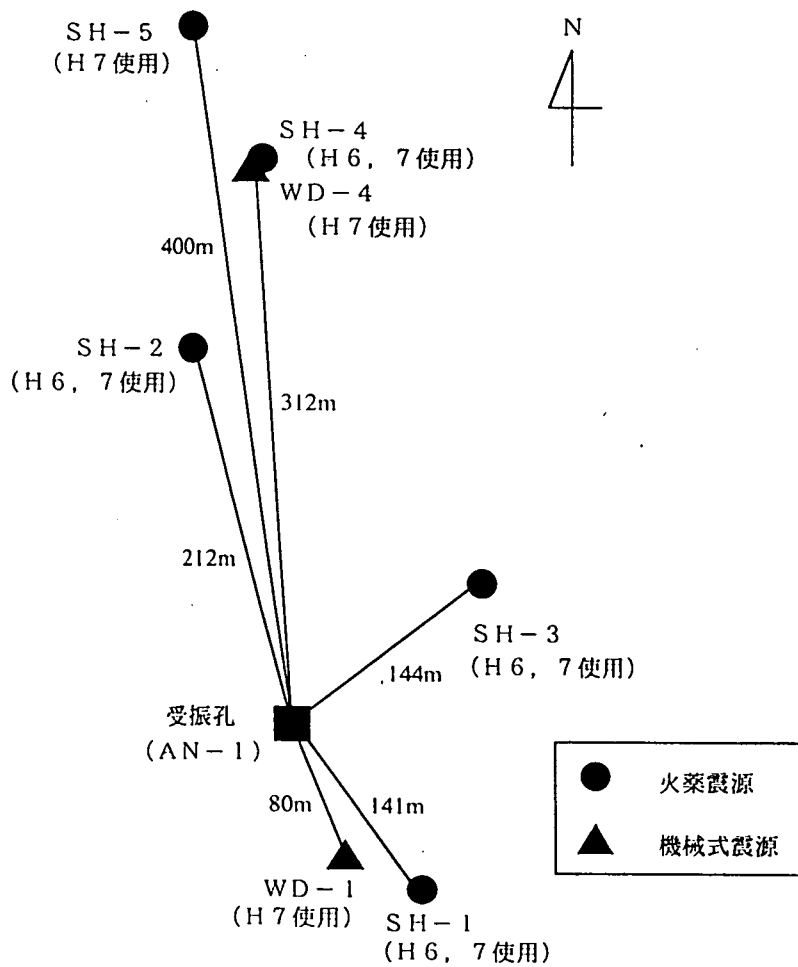
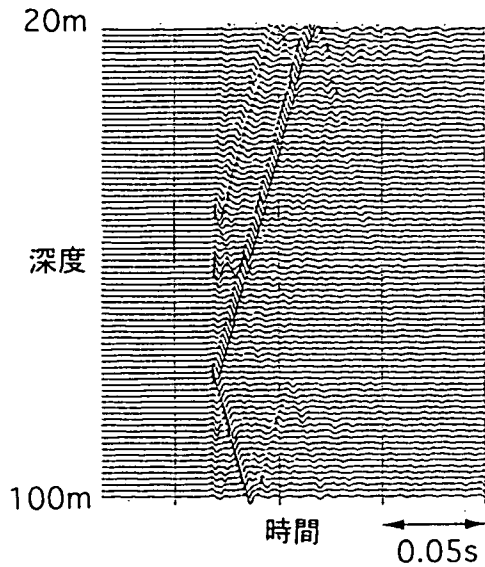


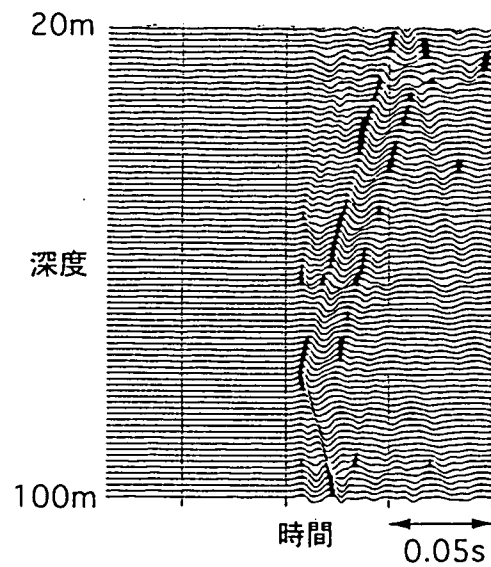
図-2 震源位置図

表-1 取得データの深度

|      |  |
|------|--|
| SH-5 | 深度 50 ~ 609 m                                |
| WD-1 | 深度 20 ~ 559 m                                |
| WD-4 | 深度 20 ~ 509 m                                |
| SH-1 | 深度 20 ~ 609 m<br>(深度 20 ~ 409 m<br>はH6年度に取得) |
| SH-2 |  |
| SH-3 |  |
| SH-4 |  |

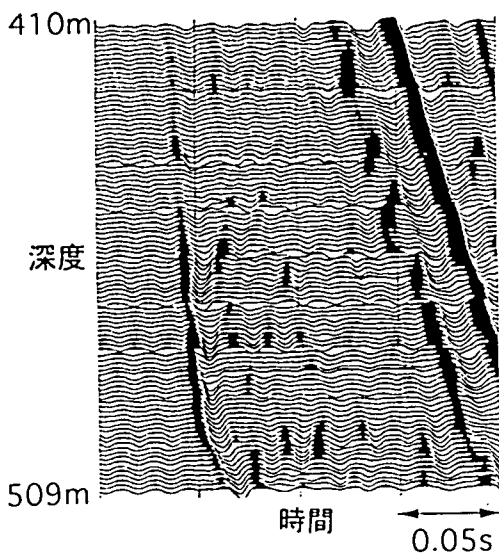


火薬震源

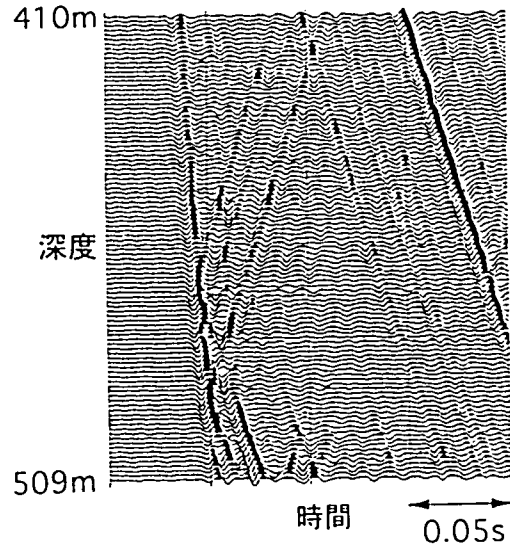


機械式震源

図-3 取得データの一部



処理前



処理後

図-4 データ処理の例

表-2 チューブ波発生深度

| WD-1 | WD-4 | SH-5 |
|------|------|------|
| 40   | 39   |      |
| 52   | 52   | 52   |
| 61   | 62   | 62   |
| 79   | 79   | 79   |
| 103  | 103  | 103  |
| 121  | 121  | 121  |
|      | 123  |      |
| 129  |      | 130  |
| 164  | 164  | 164  |
|      | 175  |      |
| 209  |      |      |
| 221  | 219  | 219  |
| 223  | 223  | 224  |
| 254  | 253  |      |
| 264  | 264  | 263  |
|      | 270  | 270  |
| 296  | 296  | 295  |
|      | 304  | 305  |
| 468  | 467  | 467  |
| 478  | 478  | 478  |
| 482  | 482  | 482  |
| 490  | 492  | 492  |
|      |      | 529  |
|      |      | 535  |
| 551  |      | 550  |

単位 (m)

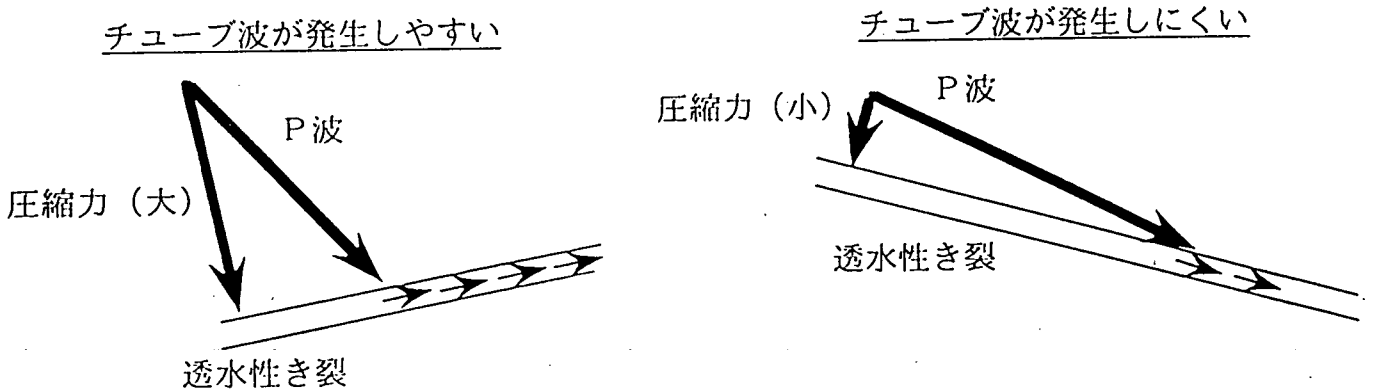


図-5 透水性き裂の走向・傾斜とチューブ波との関係

## B-7 試錐孔用広帯域レーダプロブの適用試験



## 1. はじめに

技術開発課では、地層科学研究の内、岩盤の特性を調べるための調査技術・機器開発の一環として、試錐孔用広帯域レーダプローブの開発を平成5年度より開始した。

試錐孔用広帯域レーダプローブは図-1の調査概念図に示す通り、坑道周辺に発達する割れ目の検出とその空間的位置を把握するための調査機器である。平成5年度の設計、平成6年度の製作を経て、平成7年度は性能を把握するための現場適用試験を実施したので、ここにその概要を報告する。なお、本適用試験の詳細は報告書「試錐孔用広帯域レーダプローブの適用試験 (PNC ZJ7586 95-005)」にまとめられている。

## 2. 目的および必要性

### 2.1 目的

坑道周辺に発達する割れ目の位置や、その空間的広がりを詳細に把握するために、試錐孔用広帯域レーダプローブを開発する。

### 2.2 必要性

釜石原位置試験研究における深部岩盤の水理特性を評価するためには、坑道周辺に発達する割れ目の位置や、その空間的広がりを詳細に把握する必要がある。試錐孔を用いて割れ目の位置やその空間的広がりを調査する機器として、事業団は試錐孔用レーダシステム (RAMAC) を所有しているが、現有のレーダプローブはその周波数が60MHzであり、比較的大きな割れ目や割れ目帯については検出可能であるが、坑道周辺に発達する割れ目を詳細に把握するには波長が長く、十分な調査ができない。

従って、割れ目の詳細な調査を行うために、さらに短い波長を持ったレーダシステムを開発する必要がある。

### 2.3 開発の基本的考え方

開発を短期間で終了させるため、現有のRAMACシステムの制御部など利用できるところは最大限利用する。

## 3. 開発スケジュール

|       |                      |
|-------|----------------------|
| 平成5年度 | 設計                   |
| 平成6年度 | プロトタイプ製作 (室内性能試験を含む) |
| 平成7年度 | 現場適用試験と改良            |
| 平成8年度 | 現場適用                 |

## 4. 実施内容

### 4.1 データの取得

試験は釜石鉱山原位置試験場250mレベル坑道内、KDT-1孔およびKDT-2孔（どちらも水平孔で掘進長は20m）で実施し、アンテナの指向性を確認するために、電磁波の放射方向を上下左右の4方向にセットしてデータの取得を行った（図-2）。電磁波の放射方向は、定方位ロッドを用いて制御することとした。今回の測定仕様を表-1に示す。また、現場においてアンテナの周波数特性を確認した（図-3）。

なお、データの取得は平成7年7月10日から7月13日までの4日間で行った。

### 4.2 データ処理および反射面の読み取り

取得データにフィルター処理を施し、岩盤の電磁波速度を $10^8 \text{ m}/\mu\text{s}$ として<sup>1)</sup>反射面の読み取りを実施した。図-4に4方向のレーダー反射図と反射面抽出の一例を示す。

## 5. まとめ

- (1) 試錐孔用広帯域レーダープローブは、現場においても何ら異常なく作動し、RAMAC地上装置と接続して正常にデータを取得することができた。
- (2) 試験場の栗橋花崗閃緑岩において、当初の設計通り200MHz以上の周波数帯域が確保できることを確認した。
- (3) 同じく栗橋花崗閃緑岩において、従来のレーダープローブと比較して、反射面を抽出できる範囲は試錐孔から6m程度と狭くなっているものの、より詳細に割れ目を抽出できることを確認した。
- (4) 各測定方向において、レーダー反射図および反射面の抽出結果が異なることから、指向性が十分に確保されていることを確認した。

## 6. 今後の予定

地層科学研究の現場に適用してゆく。

## 参考文献

- 1) 仙波 毅、尾方 伸久、長谷川 健、岩崎 浩、渡辺 邦夫(1992)：ボアホールレーダーによる花崗岩岩盤特性調査－釜石原位置試験場における調査結果について－，応用地質，32巻，6号，pp34-42

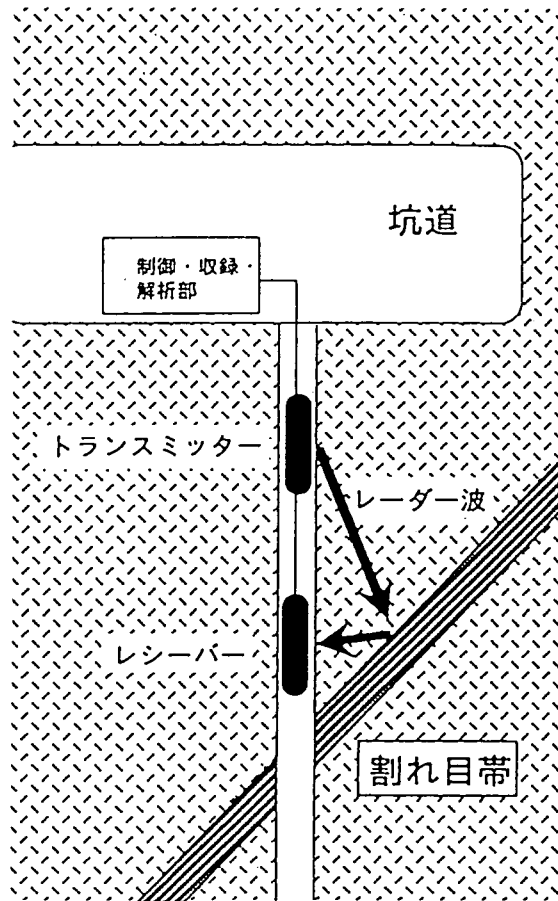


図-1 調査概念図

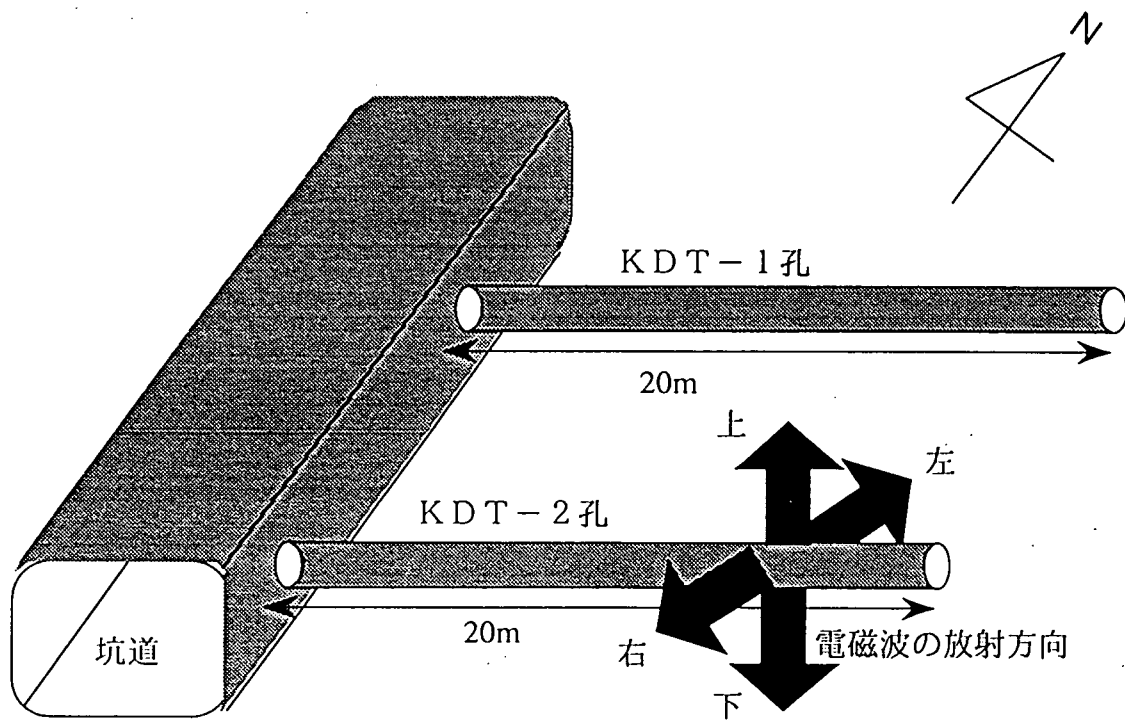


図-2 試錐孔レイアウト

表-1 測定仕様

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| アンテナの周波数帯域        | 10~400MHz |
| サンプリング周波数         | 1523.5MHz |
| サンプル数             | 512       |
| スタック数             | 16        |
| トランスミッターとレシーバーの距離 | 2.35m     |
| 測定間隔              | 0.5m      |
| 測定深度              | 2.0~18.0m |

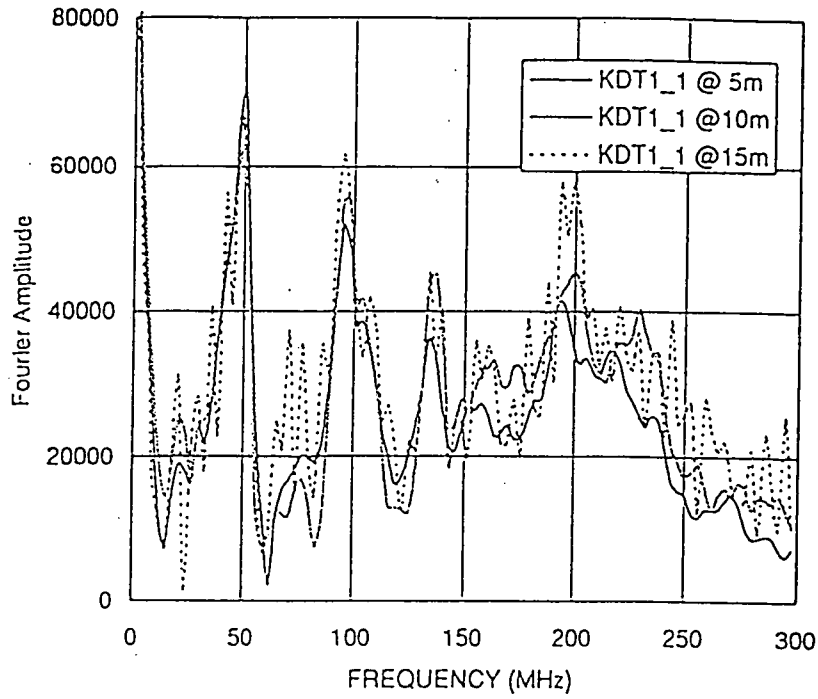


図-3 アンテナの周波数特性

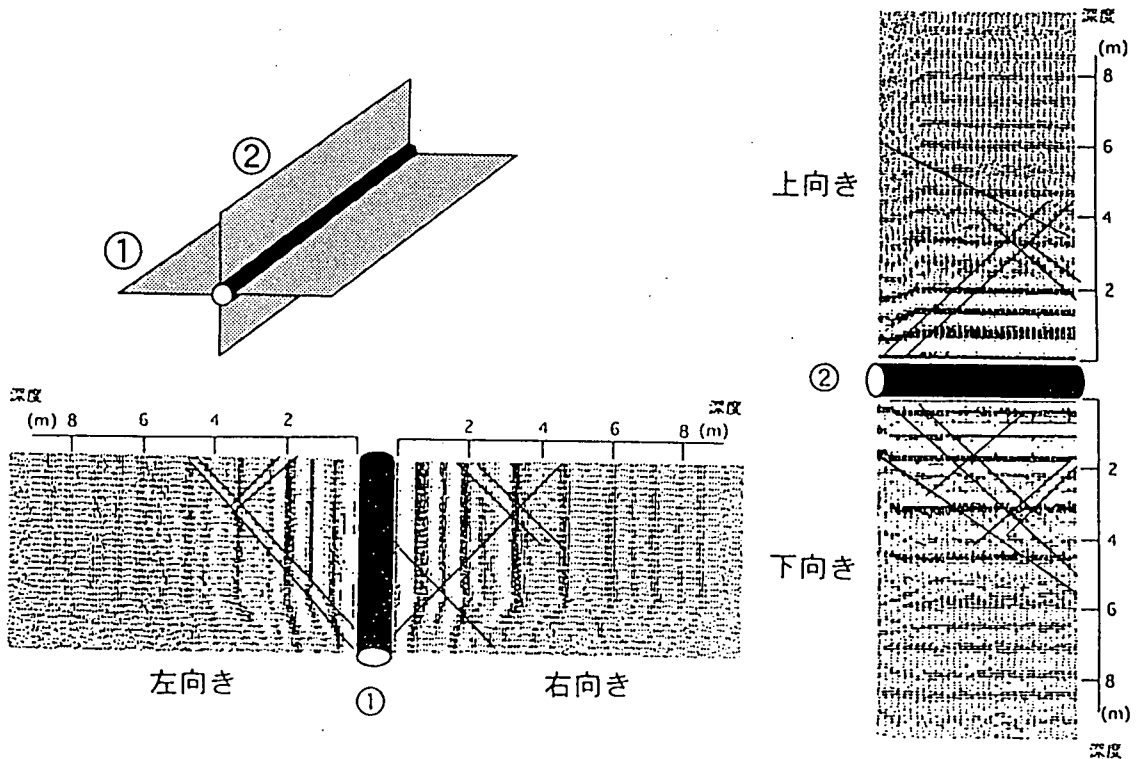


図-4 レーダー反射図

## B-8 比抵抗トモグラフィデータ解析技術開発

藪内 聡

## 1. はじめに

技術開発課では、地層科学研究の内、岩盤の特性を調べるための調査技術・機器開発の一環として、各種ジオトモグラフィ調査技術の開発を行っている。その内の比抵抗トモグラフィ調査について、坑道の影響を除去してデータを解析できるプログラムの開発を実施したのでここに報告する。

## 2. 目的

岩盤中に坑道が掘削されると、坑道周辺ではき裂の発生や地下水の状態の変化により岩盤の比抵抗が変化すると考えられる。比抵抗トモグラフィ調査法は、地下の岩盤の電気比抵抗の分布を、従来の電気探査法に比べ非常に高い精度で解析できる調査法であり、坑道周辺岩盤の比抵抗変化を把握できる可能性がある<sup>1) 2)</sup>。

通常データ解析においては、岩盤自体を無限媒質もしくは地表面を考慮して半無限媒質と見なす場合が多い。坑道周辺の比抵抗を調査する場合は、岩盤を無限媒質として取り扱うが、図-1に示すように坑道および坑道から掘削された試錐孔に電極を配置してデータを取得する場合は、岩盤は厳密には無限媒質と言えず解析結果には坑道の影響が含まれることになる。

そこで、比抵抗トモグラフィデータの解析精度を向上させるため、坑道の影響を除去できるプログラムの開発を実施する。

## 3. プログラムの開発

### 3.1 取得データの補正方法

上述のように、現場で取得した見掛比抵抗データには坑道の影響が含まれているため、これを無限媒質において取得された見掛比抵抗データに変換することにより、坑道の影響を近似的に取り除く方法がある。見掛比抵抗を補正する式は(1)式で表される。

$$\rho a' = K a \times \rho a \quad (1)$$

$\rho a'$  : 補正後の見掛比抵抗 ( $\Omega m$ )

$\rho a$  : 取得された見掛比抵抗 ( $\Omega m$ )

$K a$  : 補正係数

今回は、坑道から掘削された試錐孔の影響は無視できると仮定した。

### 3.2 補正係数 $K_a$ の求め方

比抵抗  $\rho$  の等方均質無限媒質における、点電流源による電位  $V$  は(2)式で与えられる。

$$V = \rho I / 4 \pi r \quad (2)$$

$I$  : 電流 (A),  $r$  : 電流源からの距離 (m)

清野<sup>3)</sup> は、比抵抗  $\rho_1$  の等方均質無限媒質内に、半径  $a$  の絶縁体の無限長円柱があり、その外部に図-2のように点電流源  $C$  が置かれた場合の円柱外側の点  $P$  の電位を、円柱座標系を用いて(3)式で与えている。ただし、 $C$  は  $x$  軸上の点であり、その円柱座標を  $(c, 0, 0)$  とする。

$$V = V_c - D \frac{2}{\pi} \left[ \int_0^{\infty} \frac{K_0(\mu c) I_0'(\mu a) K_0(\mu r)}{K_0'(\mu a)} \cos \mu z d\mu \right. \\ \left. + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \cos m\phi \int_0^{\infty} \frac{K_m(\mu c) I_m'(\mu a) K_m(\mu r)}{K_m'(\mu a)} \cos \mu z d\mu \right] \quad (0 < a \leq r \leq c) \quad (3)$$

ここで、

$$V_c = D \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \cos \mu z \left[ K_0(\mu c) I_0(\mu r) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} K_m(\mu c) I_m(\mu r) \cos m\phi \right] d\mu \quad (4)$$

$$D = \frac{\rho_1 I}{4 \pi} \quad (5)$$

また、式中の  $I_m$ ,  $K_m$  はそれぞれ第1種、第2種の変形ベッセル関数である。

絶縁体の円柱を坑道と見なし、(3)式を今回の比抵抗トモグラフィデータの解析に適用するには、 $r \geq a$ ,  $\phi = 0^\circ$  の半平面上に点電流源  $C$  がある場合の同半平面上の任意の点  $P$  における電位を求める必要がある。

図-3のように  $C$  の円柱座標を  $(r_c, 0, z_c)$ 、 $P$  の円柱座標を  $(r_p, 0, z_p)$  としたときの電位を、 $z$  軸に関する対称性を考慮して次の式で与える。

$$V_c = D \frac{2}{\pi} (\alpha + \beta + \gamma + \delta) \quad (r_p \geq r_c) \quad (6)$$

$$\alpha = \int_0^{\infty} \cos \mu (z_p - z_c) K_0(\mu r_p) I_0(\mu r_c) d\mu \quad (7)$$

$$\beta = 2 \int_0^{\infty} \cos \mu (z_p - z_c) \sum_{m=1}^{\infty} K_m(\mu r_p) I_m(\mu r_c) d\mu \quad (8)$$

$$\gamma = \int_0^{\infty} \cos \mu (z_p - z_c) \frac{K_0(\mu r_c) I_1(\mu a) K_0(\mu r_p)}{K_1(\mu a)} d\mu \quad (9)$$

$$\delta = 2 \int_0^{\infty} \cos \mu (z_p - z_c) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{K_m(\mu r_c) I_{m+1}(\mu a) K_m(\mu r_p)}{K_{m+1}(\mu a)} d\mu \quad (10)$$

$r_p \leq r_c$  のときは、上式の  $r_p$  と  $r_c$  を入れ替える。

(6)式から得られる点電流源  $C_1$  による  $P_1$  の電位を  $V_{c_1p_1}$  とすると、電位電極間の電位差  $V'$  は(1)式のようになる。

$$V' = V_{c_1p_1} + V_{c_2p_2} - V_{c_2p_1} - V_{c_1p_2} \quad (1)$$

一方、無限媒質における電位電極間の電位差  $V''$  は、(2)式で計算される電位を用いて、2極法の場合は(12)式で与えられる。

$$V'' = V_{c_1p_1} \quad (12)$$

補正係数  $K_a$  は(13)式で与えられる。

$$K_a = V'' / V' \quad (13)$$

このようにして求められた補正係数により、坑道および遠電極の影響を除去することができる。

#### 4. 補正係数 $K_a$ の計算

##### 4.1 入力パラメータ

今回は図-4に示す電極配置を想定して計算を行った。円柱(坑道)半径  $a = 1.5$  m とし、解析対象となる2次元平面を  $\phi = 0^\circ$  の平面とした。また、遠電極  $C_2$  の座標を  $r = 1.5$  m、 $z = -1000.0$  m、 $P_2$  の座標を  $r = 1.5$  m、 $z = 600.0$  m とした。各電極の座標を表-1に示す。

##### 4.2 計算結果

電極番号1番の電極を電流電極としたときの補正係数  $K_a$  を表-2に、21番の電極を電流電極としたときの補正係数  $K_a$  を表-3に示す。補正係数  $K_a$  は、2極法の場合で概ね  $0.96 \sim 1.14$  の値をとる。

#### 5. まとめ

今回想定した条件では、坑壁に電流電極および電位電極を配置した場合は、補正係数は  $1.06 \sim 1.14$  の値をとり、電極間隔が小さいほど坑道の影響が大きい。その他の電極配置では、補正係数は  $0.96 \sim 1.06$  の値をとるが、坑道の影響は概ね4%以下である。また、遠電極の影響は相対的なもので、電流電極と電位電極の間隔が小さいときは  $V_{c_1p_1}$  が大きいのでその影響は小さく、逆に  $V_{c_1p_1}$  が小さくなるとその影響は大きくなるが、今回の条件では大きくとも6%程度である。



## 6. 今後の予定

電位を計算する3次元モデリングプログラムの改良を実施し、坑道を比抵抗が無限大で無限長の直方体として与えたときに得られる電位および補正係数と今回計算された補正係数とを比較して、計算手法の違いによる補正係数の違いを把握する。また、補正係数による補正がインバージョン解析結果に与える影響についても検討する。

## 参考文献

- 1) 藪内 聡, 長谷川 健(1995): 比抵抗トモグラフィ調査技術の開発(その1) - 掘削影響領域把握のための比抵抗トモグラフィの適用性の検討 -, PNC PN7410 95-004
- 2) 藪内 聡, 長谷川 健(1995): 比抵抗トモグラフィによる坑道周辺の比抵抗分布の解析手法について(その1), PNC TN7410 95-010
- 3) 清野 武: 電気探鉱学

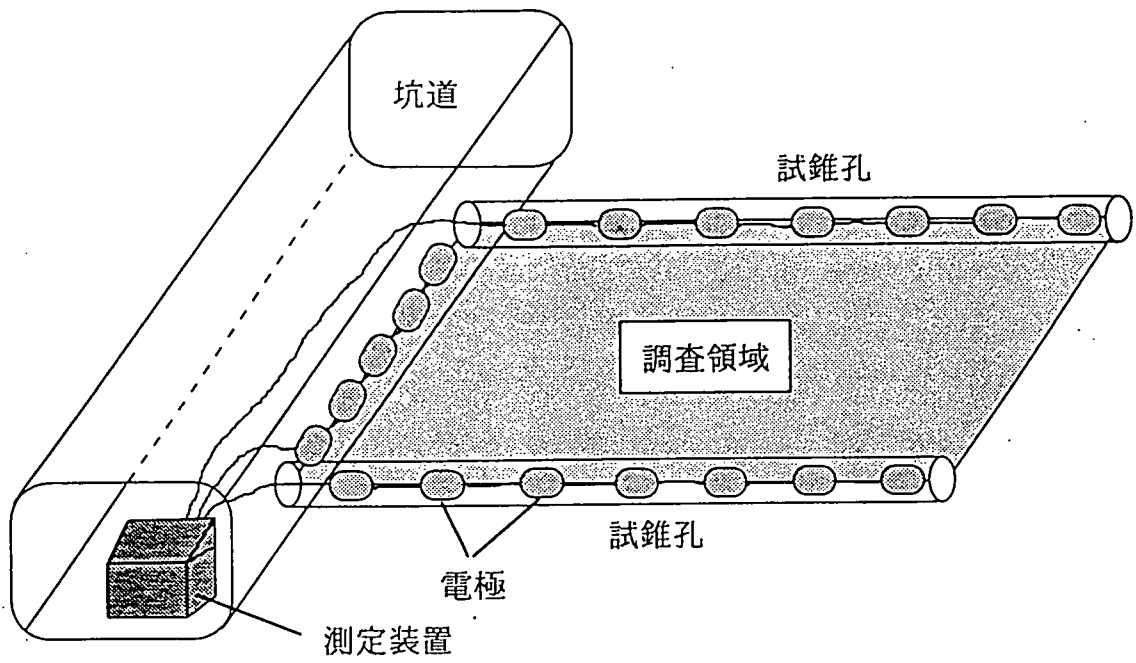


図-1 比抵抗トモグラフィ調査概念図

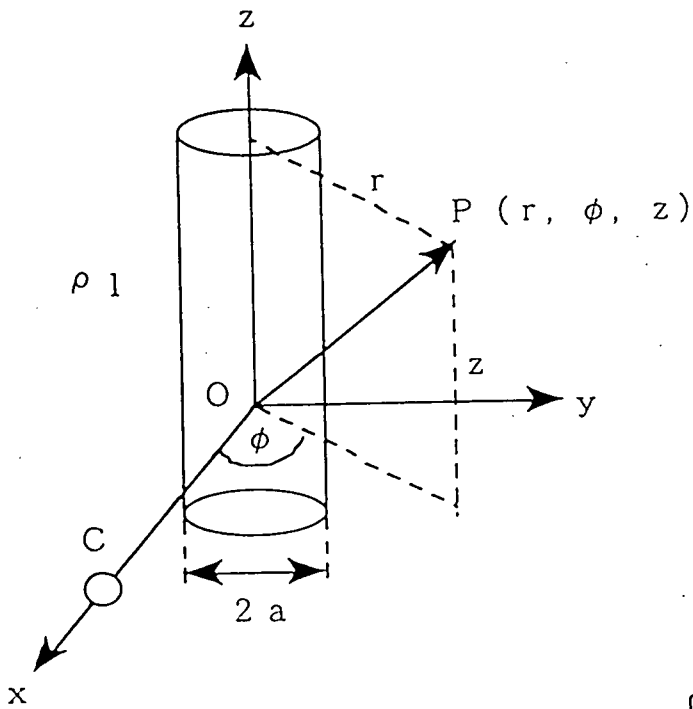


図-2 円柱座標系

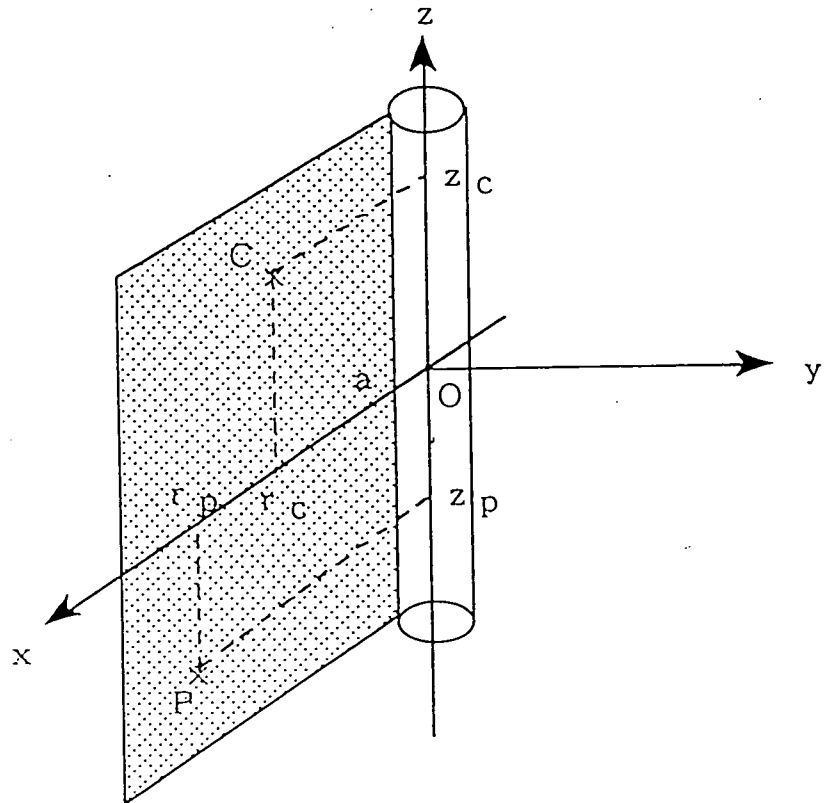


図-3  $r \geq a, \phi = 0^\circ$  の半平面

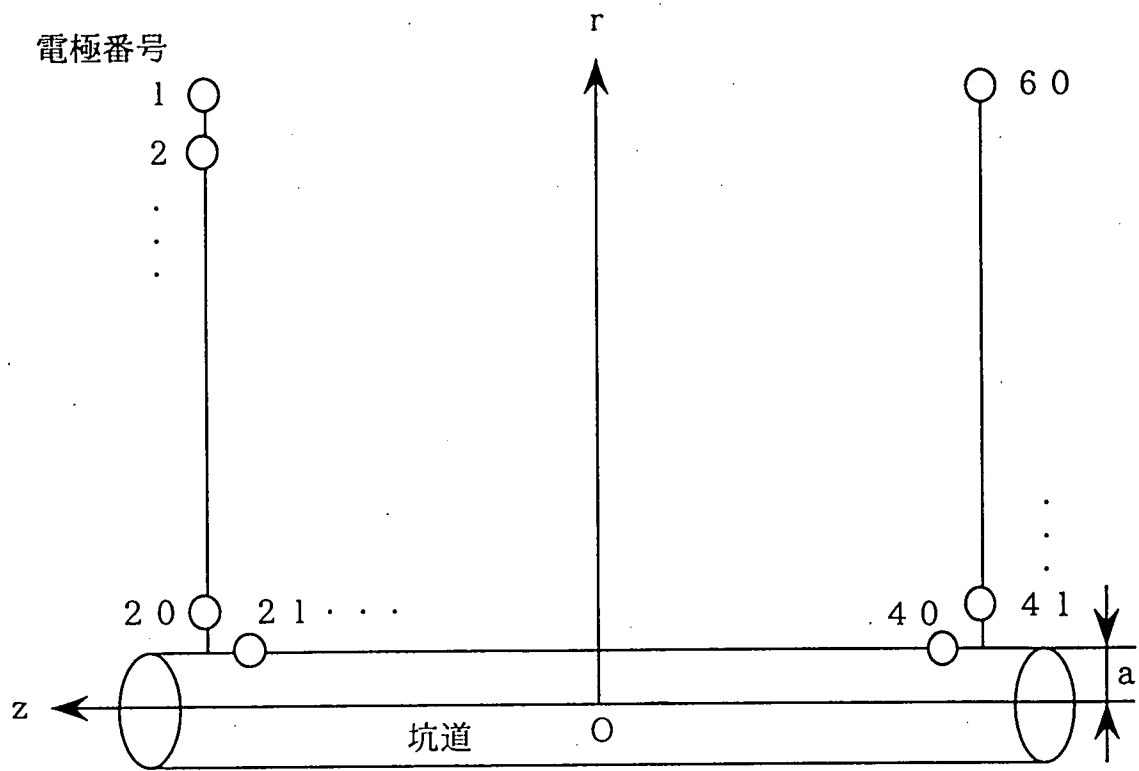


図-4 電極配置

表-1 電極の座標

| 電極番号 | r (m) | z (m) | 電極番号 | r (m) | z (m) |
|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 1    | 21.5  | 10.5  | 31   | 1.5   | -0.5  |
| 2    | 20.5  | 10.5  | 32   | 1.5   | -1.5  |
| 3    | 19.5  | 10.5  | 33   | 1.5   | -2.5  |
| 4    | 18.5  | 10.5  | 34   | 1.5   | -3.5  |
| 5    | 17.5  | 10.5  | 35   | 1.5   | -4.5  |
| 6    | 16.5  | 10.5  | 36   | 1.5   | -5.5  |
| 7    | 15.5  | 10.5  | 37   | 1.5   | -6.5  |
| 8    | 14.5  | 10.5  | 38   | 1.5   | -7.5  |
| 9    | 13.5  | 10.5  | 39   | 1.5   | -8.5  |
| 10   | 12.5  | 10.5  | 40   | 1.5   | -9.5  |
| 11   | 11.5  | 10.5  | 41   | 2.5   | -10.5 |
| 12   | 10.5  | 10.5  | 42   | 3.5   | -10.5 |
| 13   | 9.5   | 10.5  | 43   | 4.5   | -10.5 |
| 14   | 8.5   | 10.5  | 44   | 5.5   | -10.5 |
| 15   | 7.5   | 10.5  | 45   | 6.5   | -10.5 |
| 16   | 6.5   | 10.5  | 46   | 7.5   | -10.5 |
| 17   | 5.5   | 10.5  | 47   | 8.5   | -10.5 |
| 18   | 4.5   | 10.5  | 48   | 9.5   | -10.5 |
| 19   | 3.5   | 10.5  | 49   | 10.5  | -10.5 |
| 20   | 2.5   | 10.5  | 50   | 11.5  | -10.5 |
| 21   | 1.5   | 9.5   | 51   | 12.5  | -10.5 |
| 22   | 1.5   | 8.5   | 52   | 13.5  | -10.5 |
| 23   | 1.5   | 7.5   | 53   | 14.5  | -10.5 |
| 24   | 1.5   | 6.5   | 54   | 15.5  | -10.5 |
| 25   | 1.5   | 5.5   | 55   | 16.5  | -10.5 |
| 26   | 1.5   | 4.5   | 56   | 17.5  | -10.5 |
| 27   | 1.5   | 3.5   | 57   | 18.5  | -10.5 |
| 28   | 1.5   | 2.5   | 58   | 19.5  | -10.5 |
| 29   | 1.5   | 1.5   | 59   | 20.5  | -10.5 |
| 30   | 1.5   | 0.5   | 60   | 21.5  | -10.5 |

表-2 補正係数 (電流電極 1 番)

| 電位電極番号 | 補正係数  | 電位電極番号 | 補正係数  | 電位電極番号 | 補正係数  |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|        |       | 21     | 1.041 | 41     | 1.064 |
| 2      | 1.001 | 22     | 1.040 | 42     | 1.063 |
| 3      | 1.002 | 23     | 1.041 | 43     | 1.060 |
| 4      | 1.004 | 24     | 1.041 | 44     | 1.059 |
| 5      | 1.004 | 25     | 1.041 | 45     | 1.058 |
| 6      | 1.005 | 26     | 1.042 | 46     | 1.057 |
| 7      | 1.008 | 27     | 1.043 | 47     | 1.056 |
| 8      | 1.009 | 28     | 1.044 | 48     | 1.055 |
| 9      | 1.011 | 29     | 1.045 | 49     | 1.054 |
| 10     | 1.012 | 30     | 1.047 | 50     | 1.053 |
| 11     | 1.013 | 31     | 1.048 | 51     | 1.058 |
| 12     | 1.015 | 32     | 1.050 | 52     | 1.052 |
| 13     | 1.019 | 33     | 1.052 | 53     | 1.050 |
| 14     | 1.018 | 34     | 1.054 | 54     | 1.050 |
| 15     | 1.019 | 35     | 1.055 | 55     | 1.050 |
| 16     | 1.020 | 36     | 1.057 | 56     | 1.049 |
| 17     | 1.022 | 37     | 1.058 | 57     | 1.049 |
| 18     | 1.025 | 38     | 1.060 | 58     | 1.050 |
| 19     | 1.026 | 39     | 1.063 | 59     | 1.050 |
| 20     | 1.027 | 40     | 1.064 | 60     | 1.052 |

表-3 補正係数 (電流電極 2 1 番)

| 電位電極番号 | 補正係数  | 電位電極番号 | 補正係数  | 電位電極番号 | 補正係数  |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 1      | 1.041 |        |       | 41     | 1.059 |
| 2      | 1.037 | 22     | 1.143 | 42     | 1.057 |
| 3      | 1.038 | 23     | 1.133 | 43     | 1.059 |
| 4      | 1.032 | 24     | 1.120 | 44     | 1.055 |
| 5      | 1.030 | 25     | 1.119 | 45     | 1.056 |
| 6      | 1.027 | 26     | 1.096 | 46     | 1.056 |
| 7      | 1.024 | 27     | 1.086 | 47     | 1.055 |
| 8      | 1.020 | 28     | 1.091 | 48     | 1.054 |
| 9      | 1.017 | 29     | 1.076 | 49     | 1.054 |
| 10     | 1.013 | 30     | 1.067 | 50     | 1.054 |
| 11     | 1.010 | 31     | 1.076 | 51     | 1.054 |
| 12     | 1.006 | 32     | 1.068 | 52     | 1.055 |
| 13     | 1.002 | 33     | 1.060 | 53     | 1.056 |
| 14     | 0.997 | 34     | 1.066 | 54     | 1.057 |
| 15     | 0.991 | 35     | 1.065 | 55     | 1.058 |
| 16     | 0.984 | 36     | 1.062 | 56     | 1.059 |
| 17     | 0.977 | 37     | 1.063 | 57     | 1.060 |
| 18     | 0.967 | 38     | 1.064 | 58     | 1.063 |
| 19     | 0.957 | 39     | 1.064 | 59     | 1.063 |
| 20     | 0.960 | 40     | 1.065 | 60     | 1.064 |

補足

第1種、第2種の変形ベッセル関数の数値計算について

第1種変形ベッセル関数  $I_m(x)$ 、第2種変形ベッセル関数  $K_m(x)$  はそれぞれ以下の式で与えるものとする<sup>4)</sup>。

$$I_m(x) = (x/2)^m \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x/2)^{2k}}{k! \Gamma(m+k+1)} \quad (x \geq 0) \quad (i)$$

ただし、 $\Gamma$  はガンマ関数である。

$$\begin{aligned} K_m(x) = & (-1)^{m+1} I_m(x) \cdot \{ \kappa + \ln(x/2) \} \\ & + \frac{(-1)^m}{2} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x/2)^{m+2k}}{k! (m+k)!} \left\{ \sum_{n=1}^k (1/n) + \sum_{n=1}^{m+k} (1/n) \right\} \\ & + \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{m-1} (-1)^k \frac{(m-k-1)!}{k!} (x/2)^{2k-m} \quad (0 < x < 3.0) \end{aligned} \quad (ii)$$

ただし、 $\kappa$  はオイラーの定数 (= 0.57722) である。

$$K_m(x) = (\pi/2x)^{1/2} \cdot \exp(-x) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f(\nu, n)}{(2x)^n} \quad (3.0 \leq x) \quad (iii)$$

ここで、

$$f(\nu, n) = \frac{(4\nu^2 - 1)(4\nu^2 - 3^2) \cdots \{4\nu^2 - (2n-1)^2\}}{n! 2^{2n}} \quad (iv)$$

$$f(\nu, 0) = 1 \quad (v)$$

(1)級数の計算

今回の計算では高次の  $m$  まで計算する必要があるが、 $m$  の次数が高くなるに従って (ii) 式で得られる  $K_m(x)$  の値と (iii) 式で得られる  $K_m(x)$  の値がかけ離れてゆき、 $x = 3.0$  における  $K_m(x)$  の連続性が失われてゆく傾向が見られた。そこで、今回は電位の計算式中にある  $K_m(x) \cdot I_m(x)$  の値の連続性が保たれていると判断できる (増減の傾向が変化しない) ところまで計算を行った。

このような  $m$  の打ち切りによる影響は、電流電極および電位電極の間隔が小さくかつ坑道から離れた位置に配置した場合 (例えば電極番号 1 と 2 の組み合わせ) に最も大きく現れる。

(2)積分の計算

今回の計算においては、 $z_p = z_c$  の場合と  $z_p \neq z_c$  の場合に分けて計算を行った。

①  $z_p = z_c$  の場合

これは電極をインライン配置にした場合に相当する。ここで、簡単のため(7)~(10)式を次のように書き表す。

$$\alpha = \int_0^{\infty} A_0(\mu) d\mu \quad (7)'$$

$$\beta = 2 \int_0^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_m(\mu) d\mu \quad (8)'$$

$$\gamma = \int_0^{\infty} B_0(\mu) d\mu \quad (9)'$$

$$\delta = 2 \int_0^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} B_m(\mu) d\mu \quad (10)'$$

関数  $A_m$ 、 $B_m$  とともに常に正の値をとり、 $A_m$  は単調減少、 $B_m$  は  $\mu$  が 0 の近傍では急激に増加しその後減少するという傾向を示す (図-5)。

数値積分は、積分を開始するポイントを  $\mu = \pi/200000$  とし、以下  $\pi/2000$  ごとに 4096 ポイントをサンプリングし、この離散値を用いてロンバーグ積分法<sup>5)</sup>あるいは等間隔シンプソン積分法により行った。

$\mu$  の打ち切りによる影響は、電流電極および電位電極の間隔が小さくかつ坑道の近くに配置した場合 (例えば電極番号 19 と 20 の組み合わせ) に最も大きく現れる。

②  $z_p \neq z_c$  の場合

この場合は、上述の関数  $A_m$ 、 $B_m$  に  $\cos \mu(z_p - z_c)$  が乗じられるので、関数は振動する (図-6)。

数値積分は、次のように行った。

- I. 正の部分および負の部分に分割してそれぞれの部分  $S_m$  ( $m=0 \sim 11$ ) を計算する。 $S_m$  の計算はロンバーグ積分法を適用する。
- II.  $S_0 \sim S_5$  についてはそのまま和をとる。
- III.  $S_6 \sim S_{11}$  についてはオイラーの変換を適用して和をとる。

サンプリング間隔については、 $S_0$  の寄与が最も大きく、できるだけ精度よく計算する必要があるため、 $\pi/20480(z_p - z_c)$  (10240 ポイント) とし、 $S_1 \sim S_{11}$  については  $\pi/1024(z_p - z_c)$  (1024 ポイント) とした。

参考文献

4) 数学公式 III : 岩波全書

5) 工学のための応用数値計算法入門 (下) : コロナ社

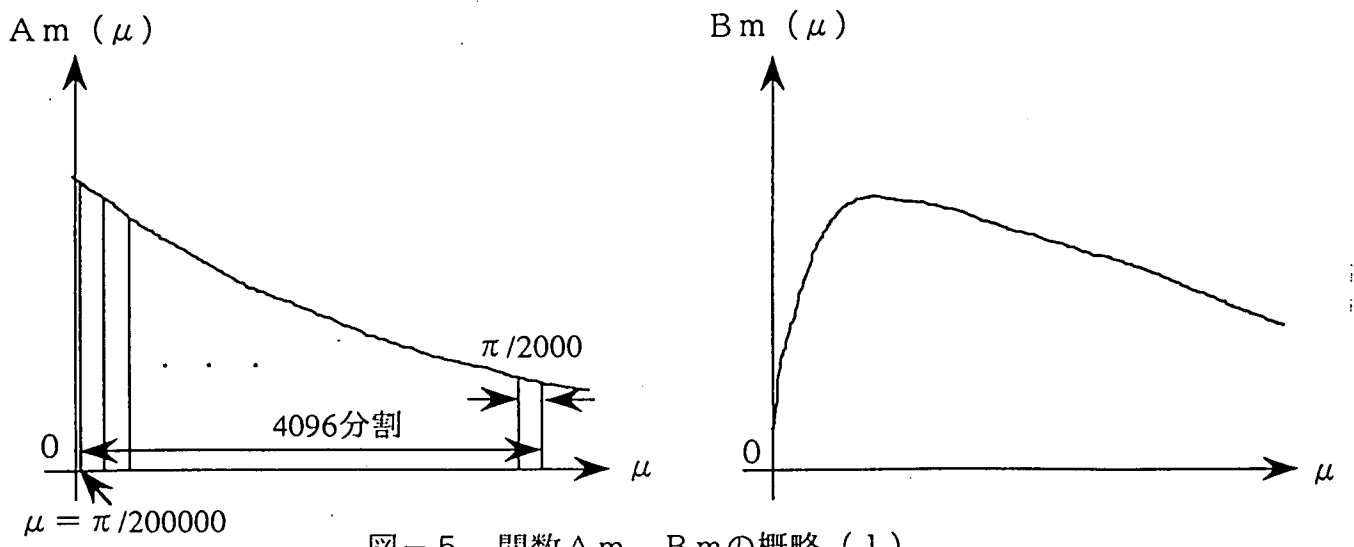


図-5 関数  $A_m$ ,  $B_m$  の概略 (1)

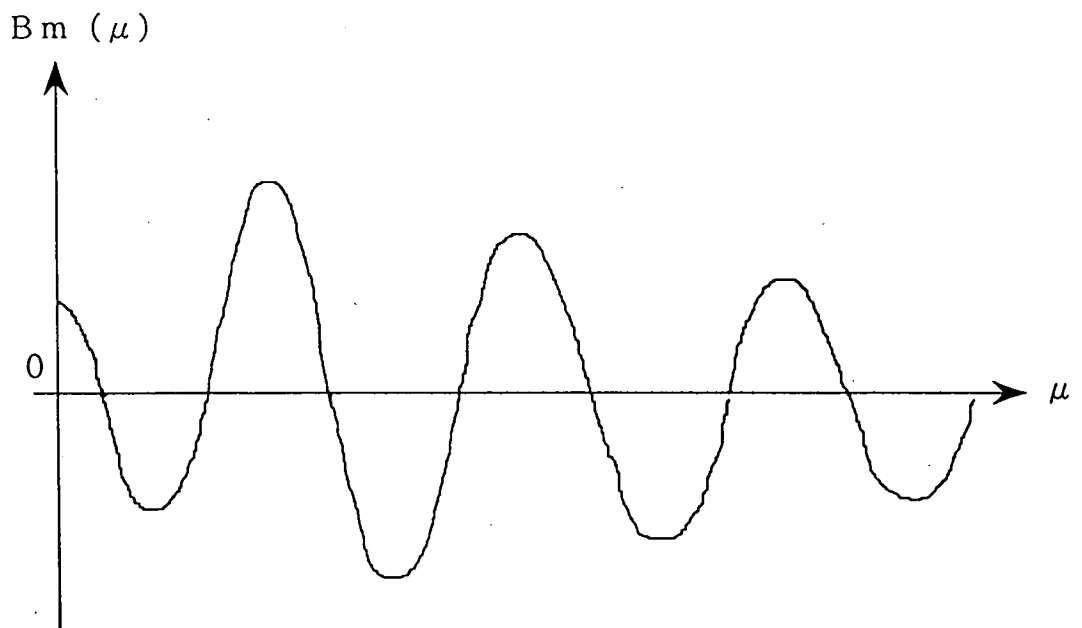
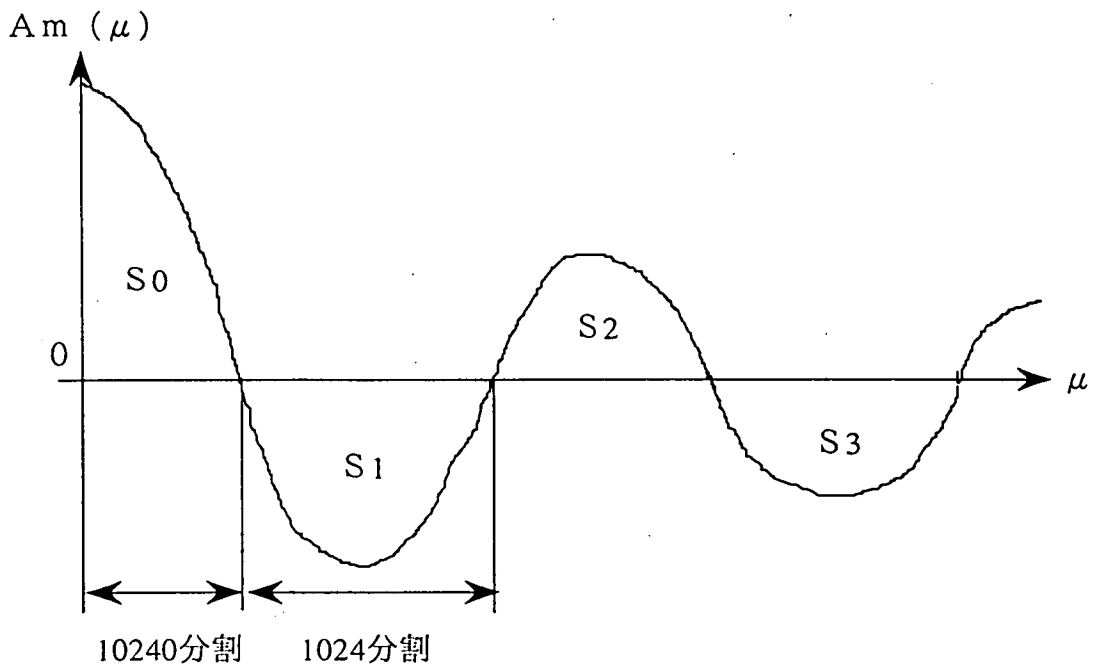


図-6 関数  $A_m$ ,  $B_m$  の概略 (2)

## B-9 高比抵抗岩盤における比抵抗トモグラフィデータ取得時の留意点



## 1. はじめに

比抵抗トモグラフィ調査法は、地下の岩盤の電気比抵抗の分布を、従来の電気探査法に比べ非常に高い精度で解析できる調査法である。技術開発課では、解析ソフトウェアの整備を実施しており、データ取得装置を自らオペレートすることにより、直営で精度の高い比抵抗トモグラフィ調査を実施することが可能となる。

平成7年7月14日から7月20日にかけて、釜石鉱山原位置試験場250mレベル坑道において、事業団所有の比抵抗探査装置McOHM-21（応用地質㈱製）を用いて比抵抗トモグラフィデータの取得を実施した。しかしながら、取得したデータは質の高いデータとは言えず、後の検討において、本装置を用いてデータを取得する際にいくつか注意すべき点があることが明らかとなった。ここでは、データの取得状況ならびにデータを取得する際の留意点について報告する。

## 2. データの取得

データを取得した場所は、釜石鉱山原位置試験場250mレベル坑道のKDT-1孔およびKDT-2孔である。両者とも水平孔で、孔間距離および掘進長は20mとなっている。データは試錐孔の孔口にエルボを取り付けて、試錐孔内に水（湧水している地下水）を満たした状態で取得した。データ取得に使用した機器を表-1に、比抵抗トモグラフィ調査の概念図を図-1に示す。

今回取得したデータの一例を図-2に示す。図は縦軸が電圧（V）／電流（I）、横軸が電極番号で、電流電極を電極番号1としたときの、各電位電極におけるV/Iをプロットしたグラフである。今回の電極配置では、電極番号が大きくなるにつれてV/Iは減少してゆくのが普通であるが、電位電極番号が2から6まではV/Iはほぼ一定値を示している。これは後の検討から、岩盤の比抵抗特性を表しているのではなく、比抵抗探査装置McOHM-21の受信部が飽和していることが明らかとなった。

## 3. 比抵抗探査装置McOHM-21を用いる際の留意点

比抵抗探査装置McOHM-21は、(1)電極の切替えや電流値、スタック回数、アンプのゲインなどの測定条件の設定を自動的に行える (2)安定した電源を確保すれば例えば24時間以上といった連続測定が可能である (3)3つの独立したチャンネルを用いることにより、3か所の電位を同時に測定できる といった特長を有している。実際に、今回はこれらの特長を活かしてデータの取得を実施したが、上述のように一部使えないデータを取得している結果となった。

そこで、今回取得したデータについて検討を実施するため、比抵抗探査装置McOHM

－ 21 の特性、性能のチェックを実施した結果、以下に示す事項がわかった。

- (1)比抵抗探査装置 Mc OHM－21 の送信部の最大電圧は 200 V であり、受信部の測定可能な最大電圧は 4.8 V である。
- (2)電流値の自動設定は 1 mA から 200 mA の間で、電圧が 200 V を超えないように設定されるが、設定電流値と実際に流れる電流値は必ずしも一致しない。
- (3)3 チャンネルで同時に電位を測定できるということは、その 3 つのデータの電流値は同じ値である。
- (4)測定データおよび電流、電位波形をフロッピーディスクに保存することができるが、測定データは測定終了後に測定全データを一度に保存できるのに対し、波形データは測定のつど保存する必要がある（ディスプレイに写っている波形を保存する）。

これらの点を考慮して、Mc OHM－21 を用いてデータを取得する際には以下の点に留意する必要がある。

- ①最小電流値 1 mA、最大測定電圧 4.8 V のときで、 $V/I = 4800 \Omega$  であるから、本装置を用いて取得したデータからはこれ以上の値が得られることはあり得ない。図－2 において、 $V/I$  が一定値を示しているのは、(1)に記す測定可能電圧値を超えているためと考えられる。
- ②3 チャンネルの電位を同時に測定する場合、各チャンネルの受信部が飽和しないように電流値を設定する必要がある。つまり、電流電極と電位電極間の電気抵抗が 3 チャンネルとも同程度であれば、各チャンネルともほぼ同じ電位値が測定されるので、あるチャンネルだけ受信部が飽和するといった可能性はほとんどなくなる。従って、電流電極と電位電極との距離が 3 チャンネルとも同程度となるように電極切替えパターンを設定しなければならない。
- ③例えば①や②の条件を満足せず、正常な測定ができないようなときは、測定モードを手動測定にするなどして、設定通りに電流を流せるかどうかを、また、電流および電位波形をチェックすることにより正常に測定できるかどうかをテストする必要がある。さらに、電極の接地抵抗についても測定しておく必要がある。

#### 4. まとめ

今回は、事前の検討が不十分であり、信頼性のあるデータを取得することができなかった。特に、釜石鉾山原位置試験場のような比抵抗の大きい岩盤を対象とした場合は、図－2 に見られるように、Mc OHM－21 では電極間隔が小さい場合に受信部が飽和して正しい測定ができないことがわかった。また、自動的な連続測定も能率的ではあるが、データの質を保証するという点からは好ましいとは言えず、常にデータをチェックしながらデータ取得を行うべきであることも痛感した。

次に比抵抗トモグラフィ調査を行う際には、今回の検討で明らかとなった点に留意してデータの取得を実施する所存である。

## 5. 今後の予定

比抵抗トモグラフィ調査に関する情報収集を実施するとともに、解析ソフトウェアの改良・高度化についても継続して実施し、特に比抵抗が大きい岩盤を対象とした場合の解析精度の向上について検討を行う。

表-1 使用機器一覧

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| 本体 (送信部・受信部)      | 応用地質(株)製 McOHM-21          |
| 電源 (AC100V→DC12V) | ダイヤモンド社製 直流安定化電源GS-3000S・V |
| 試錐孔用電極            | 塩化ビニル管に銅網を巻いたものを使用         |
|                   | 電線で電極切替器 (応用地質(株)製) に接続    |
| 坑壁用電極             | 坑壁に打ち込み済みのアンカーを使用          |
|                   | 電線でMcOHM-21用電極ノード          |
|                   | (応用地質(株)製) に接続             |
| その他               | McOHM-21用電極ノードの電源 (単1乾電池)  |

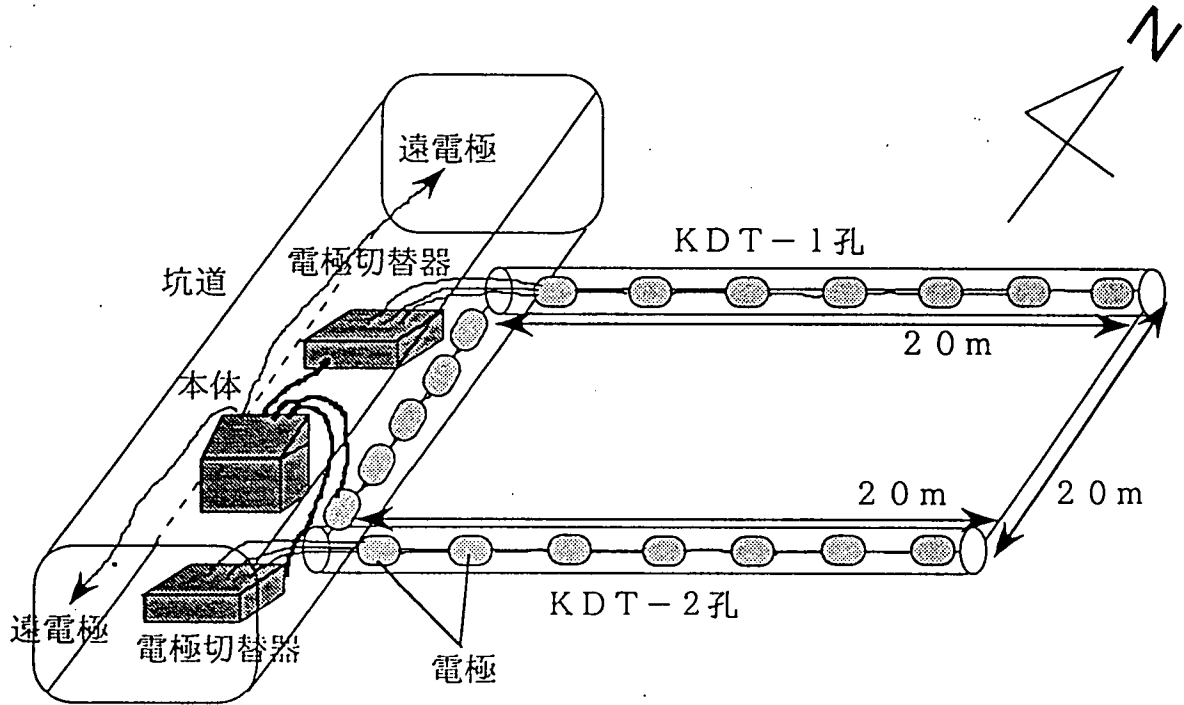


図-1 比抵抗トモグラフィ調査概念図

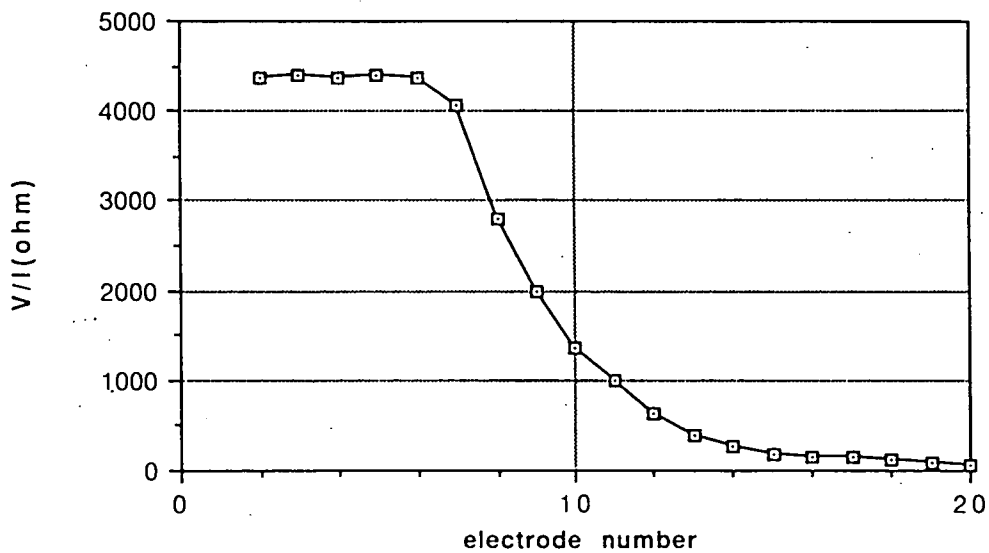


図-2 取得データの一例

## B-10 試錐掘削技術に関わる動向調査

## 1. はじめに

地層科学研究における試錐孔は、資源探査用の試錐孔と異なり、その試錐孔を用いて行われる水理あるいは地球化学調査が必要とする仕様（孔径、裸孔状態での試験空間の維持など）を満たさなければならない。そのためには、必要とされる試錐孔の仕様ならびに掘削対象となる岩盤の特性に応じて、最適な掘削技術を適用する事が重要である。そこで、現時点で適用可能な最新の試錐掘削技術について調査するため、国内・国外の各掘削分野における試錐掘削技術の現状について、ハードウェアを中心に技術情報の収集を行った。

なお、情報収集結果の詳細は「試錐掘削技術に関わる動向調査（PNC ZJ7694 96-001）」にまとめられている。

## 2. 実施内容

試錐掘削技術の調査項目を下記の様に分けて、それらに関する情報の収集・整理を実施した。

- ①孔曲がり制御技術
- ②保孔方法に関するハードウェア調査
- ③水質に影響の少ない泥剤の調査
- ④スライム排出方法に関する工法調査
- ⑤掘削時における孔内状況を把握するための装置に関するハードウェア調査
- ⑥掘削中のリアルタイム坑底情報計測技術に関するハードウェア調査
- ⑦掘削装置類の自動化・作業の省力化に関するハードウェア調査
- ⑧米国エネルギー省 ユッカバウンティにおける試錐掘削技術について

## 3. 主な調査結果

### (1) 孔曲がり制御技術に関して

#### ① 孔曲がり防止技術

孔径とマッシュアップやロットとのクリアランスを縮小する観点から開発された工法および掘削ビットの切削性の観点から開発された工法がある（表1 参照）。

#### ② 孔曲がり測定技術

孔曲がりは、傾斜値と方位値により、定量的に表わされる。以下、代表的な測定装置を示す。

- ・トロパリ測定器
- ・村田式測定器
- ・ベッカー フューズ インテック 社製測定器
- ・ハンフリー 測定器

#### ③ 孔曲がり修正技術

ウェッジ工法とタフホールドカーによる孔曲げ工法の2種類がある。

(2)保孔技術に関して

清水を主体とした循環水で、ワイヤライン 工法を採用し、深度1,000m級の掘削を安全、確実に施工する技術は確立されていない。そのために新規な開発が必要となる。例えば、従来のケーシング 工法を発展させた多重ケーシング 工法の開発等が考えられる。

(3)水質に影響の少ない泥剤に関して

ドイツのKTB が掘削と地科学的な要求とを満たす様な泥剤の開発・実用化を図った。掘削の面でいくつ問題点が有ったが、地化学的な分析が十分に可能であった。

(4)スリムの排出技術に関して

循環水に清水を用いる場合、なるべく循環水量を増加させないで、スリムの上昇速度を増加させる必要がある。現時点では、次の二つのスリム排出方法が考えられる。

①循環水にエアを圧入する

②地表から循環水やスリムを真空引きする

この方法は、実際に適用された例は無いが、スリム排出の効率を向上する効果が高いものと考えられる。

(5)孔内状況を把握するためのハードウェアに関して

既存の製品で対応可能である。現在は掘削管理・評価の機能を持つシステムもある。

(6)リアルタイムの坑底情報計測技術に関するハードウェアに関して

現在MWD(Measurment While Drilling)技術が発達している。孔径HQサイズ、深度1,000mに対応可能なMWD 装置はあるが、ワイヤライン 工法と組み合わせたものは無い。

(7)掘削装置類の自動化・作業の省力化に関するハードウェアに関して

既製品で構成可能である。代表的な装置として、ねじ部解緊装置やロットハンドリング装置等がある。

(8)ユッカ マウンテン における試錐掘削技術に関して

デュアルウォール掘削(Dual Wall Drilling)システムの開発と実用化が図られた(図1 参照)。このシステムは、ワイヤライン 工法の一つで、エアを循環流体に利用し、コアリングとリーミングを実施している。リーミング時には、2重管ロットを使用している。

なお掘削対象岩盤は、火山岩帯の不飽和領域(ドライゾーン)である。

表1 孔曲がり防止工法

| 工法名             | 構造                      | 特徴   |
|-----------------|-------------------------|--|
| スタビライジング工法      | コアチューブやロットにスタビライザーを組み込む | <ul style="list-style-type: none"> <li>・組み込みが容易</li> <li>・中硬質岩, 軟岩に不適</li> </ul>       |
| デビエーションコントロール工法 | コアチューブにスリーブを設ける         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造が複雑だが, 効果が大い</li> <li>・硬岩, 破碎層に不適</li> </ul> |
| フルウォールコアバル工法    | コアチューブの外径を孔径に近づける       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造がシンプルで効果が大い</li> <li>・全岩質に適応可能</li> </ul>    |
| シンカービットワイヤライン工法 | ビットの切削面積を縮小する           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・均一な硬岩に最適</li> </ul>                            |

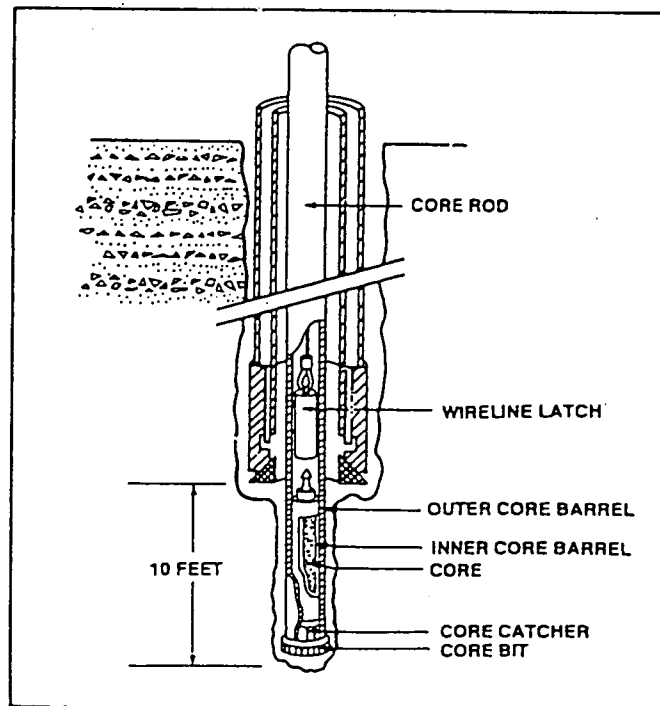


図1 デュアルウォール掘削システム



## B-11 試錐掘削技術に関わる文献調査

## 1. はじめに

地層科学研究における試錐孔は、資源探査用の試錐孔と異なり、その試錐孔を用いて行われる水理あるいは地球化学調査が必要とする仕様（孔径、裸孔状態での試験空間の維持など）を満たさなければならない。そのためには、必要とされる試錐孔の仕様ならびに掘削対象となる岩盤の特性に応じて、最適な掘削技術を適用する事が重要である。そこで、現時点で適用可能な最新の試錐掘削技術について調査するため、国内・国外の各掘削分野における試錐掘削技術の現状について文献調査を実施した。

なお、調査結果の詳細は「試錐掘削技術に関わる文献調査（PNC PN7420 96-003）」に報告されている。

## 2. 実施内容

以下の要領で文献調査を実施した。

- (1) 文献調査の対象を地層処分、学術、石油、地熱の分野とした。
- (2) 各掘削分野における文献は、JICST 検索によりリストアップし、そのコピーを購入したり、当センターの図書管理室および動燃本社から収集した。

## 3. 主な調査結果

### (1) 地層処分の分野

SKB(スウェーデン)において、テレスコプ型掘削技術<sup>1)</sup> (図1)を開発・適用し、深度1,700mまで掘削した。また深度200mからのワイヤライン工法によるコリング掘削は、掘削流体に水だけを用いて実施された。岩質は、主に花崗岩や花崗閃緑岩であった。

### (2) 学術の分野

ドイツの超深度掘削プロジェクト(KTB)が有名である。このプロジェクトでは、地層へのコンタミネーションを考慮した泥剤の開発<sup>2)</sup>や垂直掘りに関して画期的なシステム(VDS; Vertical Drilling System) (図2, 図3)の開発を行った。なお超深度井は、9,101mまで掘削された。

## 4. 参考文献

### 1) SKB TR94-19

「Deep drilling KLX02 / Drilling and documentation of a 1700m deep borehole at Laxemar, Sweden」

### 2) ドイツ KTB プロジェクトにおける使用泥水と孔内安定性について

(KTB掘削現場を視察した際の報告書, 著者は(株)丸井 今野 淳氏)

# VERTICAL DRILLING TECHNOLOGY

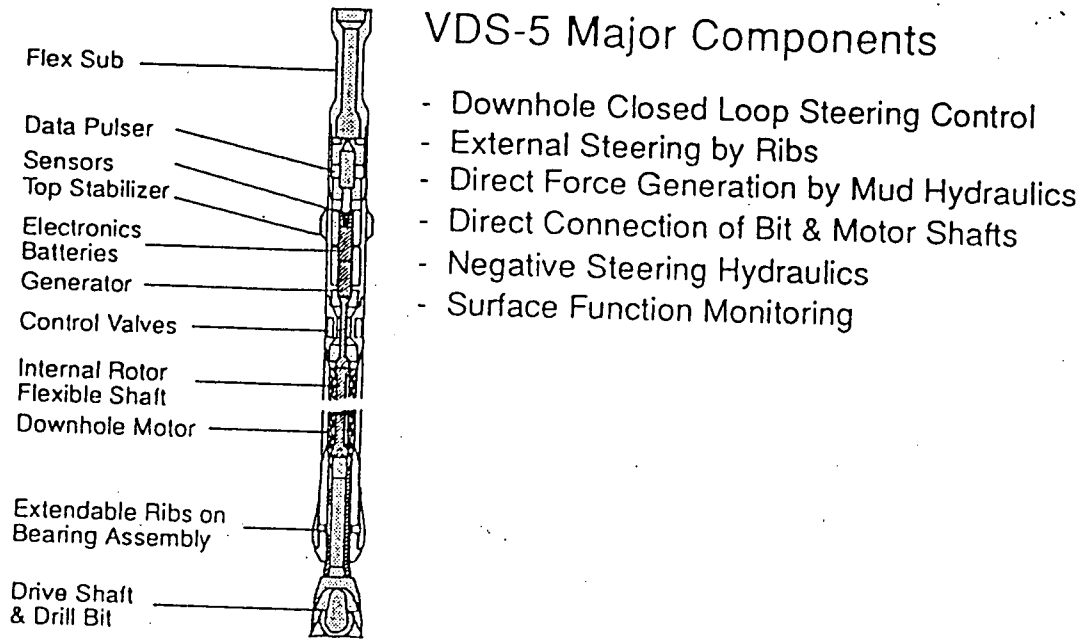


図2 VDSのシステム構成

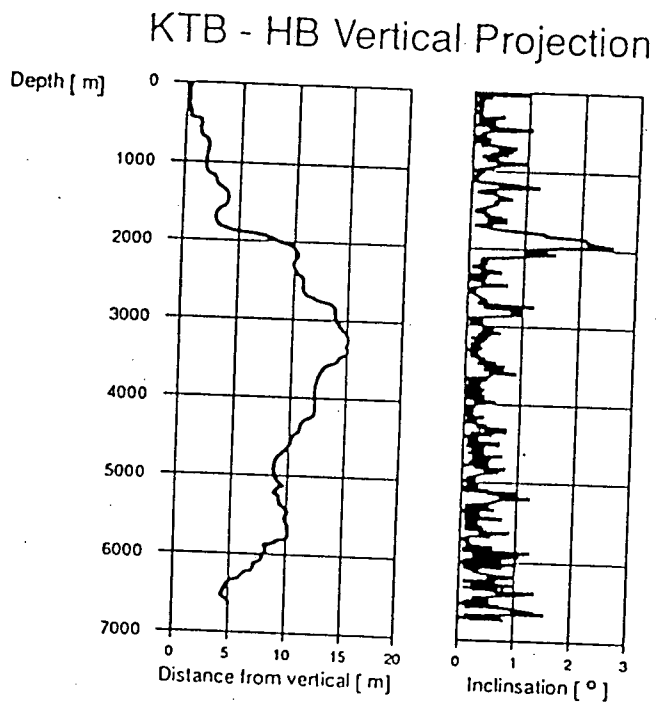


図3 超深度井の孔曲り測定結果

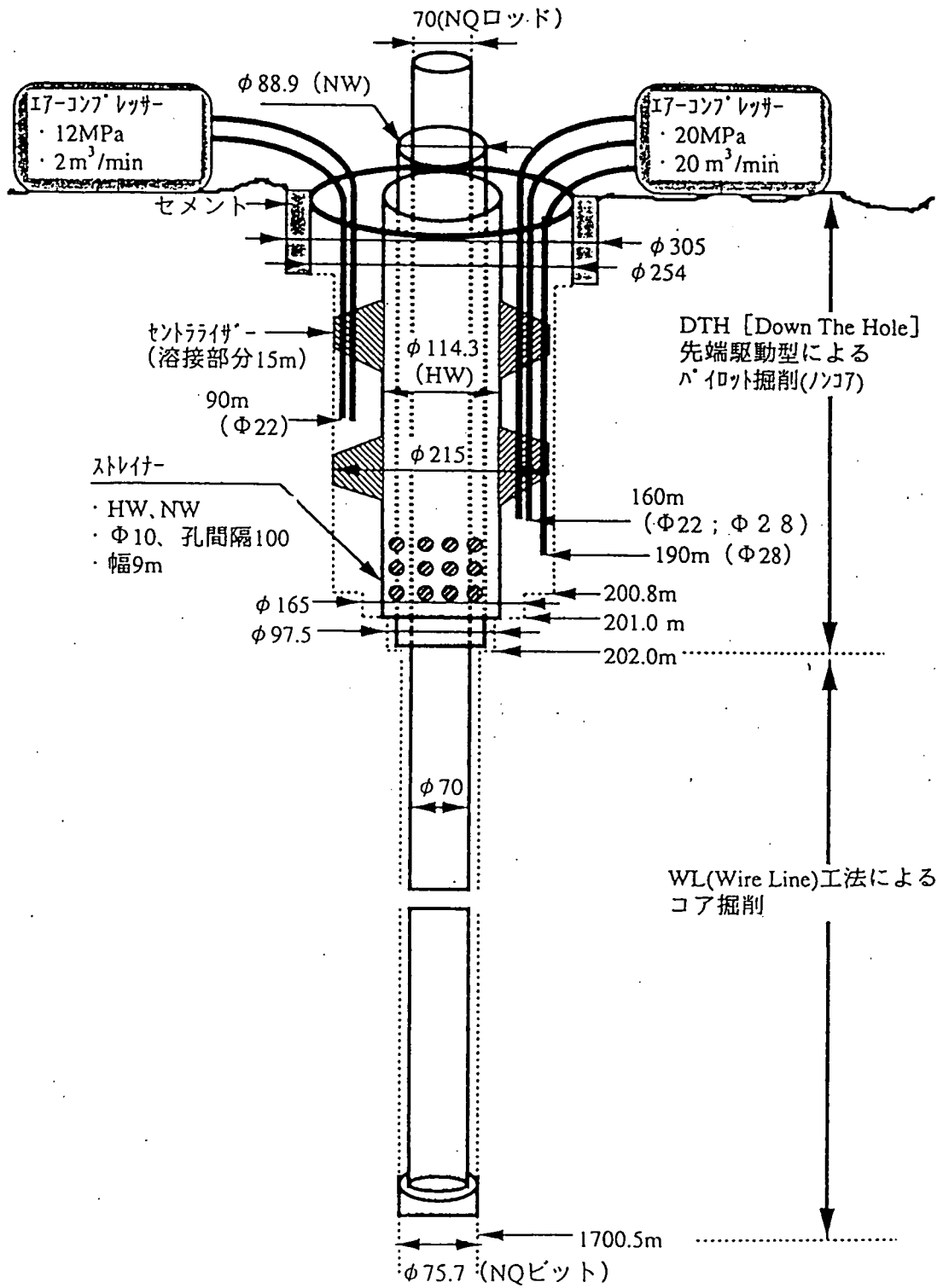


図2 テレスコープ型掘削技術の適用例

## B-12 DH-3号孔における孔曲がり測定結果

### 1. はじめに

試錐孔を利用して水理試験や地下水の採水を行うためには、利用する試錐孔はできるだけ真っ直ぐ下向きに掘削される必要がある。これに対し、今回、結晶質岩中を掘削したDH-3号孔においては極度の孔曲がりが生じ、一部試験が予定どおり実施できなくなるという事態が発生した。そこで、孔曲がりデータを掘削データや物理検層データと比較することにより、DH-3号孔における孔曲がり原因について検討を行った。

なお、検討結果の詳細は報告書「DH-3号孔における孔曲がり測定結果の解析・評価 (PNC PN7410 96-044)」にまとめられている。

### 2. 実施内容

孔曲がりの原因を明らかにするために、孔曲がりデータを掘削データや物理検層データと比較した。比較検討は以下の4通りについて行った。

- ①孔曲がり測定データと物理検層データとの比較
- ②孔曲がり測定データと掘削データとの比較
- ③深度方向と掘削条件の解析
- ④孔曲がり測定データと地質データとの比較

### 3. 主な調査結果

- (1) 孔曲がり測定データと物理検層データとを比較した結果、P波速度については全体的に速度が速くなるほど傾斜角は増加する傾向にあるが、明瞭な相関関係は認められない。
- (2) 孔曲がり測定データと掘削データとを比較した結果、ビット荷重と傾斜角の間には一部のRQDの範囲で相関が認められるものの、全体的には明瞭な相関は認められない。
- (3) 孔曲がり測定データと地質データとを比較した結果、地層の硬い柔い互層が存在する区間では、傾斜角の増加が認められた。また、破碎帯や割れ目が連続的に分布する区間では、ビット荷重の大小に関わらず傾斜角の増加は認められない。

結局、孔曲がりの原因を特定することは出来なかったが、今回のデータの検討過程で、DH-3号孔は過度のビット荷重をかけてかなり長い区間を掘進されたことが明らかになった。試錐孔を定められた仕様通りに正確に掘削するためには、孔曲がりの制御技術を導入・開発することがもちろん必要であるが、試錐機の設置状態や掘削中のビット荷重・回転トルクといった掘削条件について、今後品質保障を確実にやっていくことが合わせて重要である。

## 4. 共通的业务の成果

C-1 東濃鉱山の維持管理

C-2 図書・技術情報の管理について

C-3 分析業務について

C-4 東濃文書サーバ管理要領書

## C-1 東濃鉦山の維持管理



## 1. はじめに

東濃鉦山で実施している地層科学研究業務の拡大に伴い、工事・試験研究・計測作業や外部からの共同研究関係者及び見学者が年々増加しているため、鉦山設備の整備をすすめた。

## 2. 実施方針

鉦山の安全確保を第一に鉦山保安法を遵守しつつ、主要機器の日常点検、坑道の保坑、作業環境の測定及び坑水の処理を実施した。特に、現在の設備は建設後23年が経過しているため、経年変化対応と安全の両面から施設の保守・整備を重点に維持管理及び環境整備を図った。

## 3. 実施内容

### 3-1) 環境整備

環境整備については以下の工事を実施した。

- ① 調査立坑内圧気管更新工事
- ② 東濃鉦山大曲道路舗装工事
- ③ 東濃鉦山倉庫改造工事
- ④ 東濃鉦山倉庫改造工事の付帯工事
- ⑤ 東濃鉦山坑内通信システムの設置
- ⑥ 東濃鉦山気象観測装置の更新と増設
- ⑦ 東濃鉦山気象観測装置のセンサーの更新

詳細については表-1を参照

### 3-2) 保坑整備

保坑整備は以下の場所について実施した。

- ① 見学坑道
- ② 本延45m不整合部
- ③ 上盤連絡坑道
- ④ 本延95m

### 3-3) その他の工事

鉦山施設ではないが、鉦山敷地内に陸域構造フロンティア研究のための施設を設置した。

- ① アクロス地表設備の設計
- ② アクロス地表設備工事

詳細については表-2を参照

## 4. まとめ

今後も、鉦山保安法を遵守して東濃鉦山施設の維持管理を実施し、主要機器の日常点検、坑道の保坑、作業環境の測定及び坑水の処理等を主体に、環境整備を計画的に実施していく。

表-1 東濃鉦山工事関係一覧

| 件名       | 工事概要               | 工期   | 工事金額                            |                       |
|----------|--------------------|--|---------------------------------|-----------------------|
| 環境<br>整備 | 調査立坑内圧気管更新工事       | 調査立坑内の古い圧気管を新品に更新し、風管及び配管を撤去する。  | 平成 7年 6月19日<br>)<br>平成 7年 6月26日 | ¥1,936,400<br>(館林建設)  |
|          | 東濃鉦山大曲道路舗装工事       | 面積747 m <sup>2</sup> にアスファルト厚50mmで舗装し、横断排水路を2箇所設置する。また、大曲カーブ部は掘削・盛土整形し大型バスが通行できるようにする。 | 平成 8年 1月20日<br>)<br>平成 8年 2月29日 | ¥3,675,709<br>(田中建設)  |
|          | 東濃鉦山倉庫改造工事         | 原水槽上に8m×4.82mの倉庫と更衣室を設置する。   | 平成 8年 2月19日<br>)<br>平成 8年 3月25日 | ¥3,884,996<br>(田中建設)  |
|          | 東濃鉦山倉庫改造工事の付帯工事    | 東濃鉦山倉庫改造工事に新たに空調設備、洗面化粧台及びカーテンを取り付ける。  | 平成 8年 3月 1日<br>)<br>平成 8年 3月25日 | ¥ 453,200<br>(田中建設)   |
|          | 東濃鉦山坑内通信システムの設置    | 東濃鉦山の坑内間及び坑外間で通信が可能なシステムを設置する。   | 平成 8年 3月 5日<br>)<br>平成 8年 3月 8日 | ¥7,997,950<br>(岩崎通信機) |
|          | 東濃鉦山気象観測装置の更新と増設   | 東濃鉦山の既存気象観測システムのうち、露点計、風向風速計及び記録計を更新し雨雪量計を増設する。  | 平成 7年 9月22日<br>)<br>平成 7年12月28日 | ¥3,399,000<br>(三弘)    |
|          | 東濃鉦山気象観測装置のセンサーの更新 | 東濃鉦山の既存気象観測システムのうち、更新が済んでいない計測部である日照計、指差放射収支計、気圧計等を気象庁検定品に更新する。                        | 平成 8年 3月11日<br>)<br>平成 8年 3月29日 | ¥ 4,306,000<br>(三弘)   |

表-2 東濃鉦山工事関係一覧

| 件名     |             | 工事概要  | 工期                              | 工事金額                  |
|--------|-------------|---|---------------------------------|-----------------------|
| その他の工事 | アクロス地表設備の設計 | アクロス装置を設置するための基礎ブロックとこれを被う建屋及び運転に必要な電源工事の設計を行う。 | 平成 8年 2月 7日<br>)<br>平成 8年 3月 5日 | ¥1,030,000<br>(波多野設計) |
|        | アクロス地表設備工事  | アクロス装置を設置するための基礎ブロックとこれを被う建屋及び運転に必要な電源工事を行う。    | 平成 8年 3月28日<br>)<br>平成 8年 6月28日 | ¥17,098,000<br>(館林建設) |

# 平成7年度 東濃鉱山業務実績

|                 | 4 | 5                    | 6                       | 7  | 8   | 9                      | 10 | 11     | 12 | 1 | 2   | 3                      |
|-----------------|---|----------------------|-------------------------|--|---|------------------------|----|--------|----|---|---|------------------------|
| 1. 全体工程         |   |                      |                         | 保安週間<br>◎監督部巡回検査<br>23<br>○緊急時通報連絡訓練<br>21 | — 16.17安全総点検<br>□13 (事前検査)<br>■第2立坑エレベーター性能検査<br>20 |                        |    |        |    |   |   | ○15<br>総合防災<br>訓練      |
| 2. 工事関係         |   |                      | — 本延55m ボーリング 100m×1/ボウ | ボーリング 12m×1                                | 発破掘削<br>(3m/直営)                                     | 機械掘削<br>(ロードハッパ - 22m) |    |        |    |   | 7<br>斜坑底西 ボンゴ座<br>ボーリング 57m×1/ボウ                              | 9<br>—                 |
| 3. 保坑           |   | 本延55m 試錐座準備<br>見学坑道部 | 19~26<br>— 調査立坑内圧気管更新   |  |   |                        |    |        |    |   | ○坑底ITV 更新<br>14<br>19<br>倉庫改造工事<br>25<br>20<br>大曲道路舗装工事<br>29 | 3<br>8<br>坑内通信<br>システム |
| 4. 鉱山管理資<br>料整備 |   |                      | 本延45m 不整合部              | (ドラフト作成)                                   | 本延20m. 30m 南延                                       |                        |    | 上盤連絡坑道 |    |   | — 本延55m 試錐座整備<br>— 斜坑底西 ボンゴ座<br>整備                            | 本延95m                  |

## C-2 図書・技術情報の管理について

## C-2 図書・技術資料の管理について

担当：林 (調), 深萱

### 1. はじめに

東濃地科学センター・技術開発課・図書室では、センター内における全ての課室に共通した業務を行っています。それらの主な業務として①技術資料の採番から登録までの一連の作業及び開示、保管、管理 ②書籍の購入手続き及び登録、分類、保管、管理 ③定期講読誌の申込、継続手続き、支払い手続き、保管、管理 ④情報提供(オンライン検索、文献複写) ⑤文書管理(サーバ文書) などがあります。ここでは、平成7年度に行われたそれらの業務の概要について報告します。

### 2. 業務の概要

#### 2.1 技術資料の登録管理について

技術資料の登録管理システムは、平成元年から運用が開始されており、同時に東濃地科学センター・図書室での一括管理が行われるようになりました。ここでは平成7年度の登録件数を以下の表にまとめました。

[平成7年 技術資料登録件数(決裁済件数)]

|         | ウツ資源探鉱関係 | 地層科学関係 | その他 | 計   |
|---------|----------|--------|-----|-----|
| 公開資料(T) | 21       | 69     | 0   | 90  |
| 限定資料(Z) | 34       | 13     | 0   | 47  |
| 社内資料(P) | 51       | 3      | 3   | 57  |
| 計       | 106      | 85     | 3   | 194 |

(H8.7.17 現在; 件)

## 2.2 書籍の購入及び登録管理について

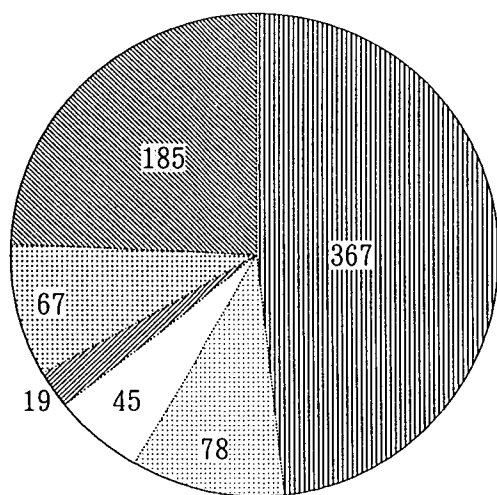
以下に平成元年からの課室別書籍購入冊数及び平成7年度のセンター内における購入書籍数の割合を示す。

〔年度別書籍購入冊数〕

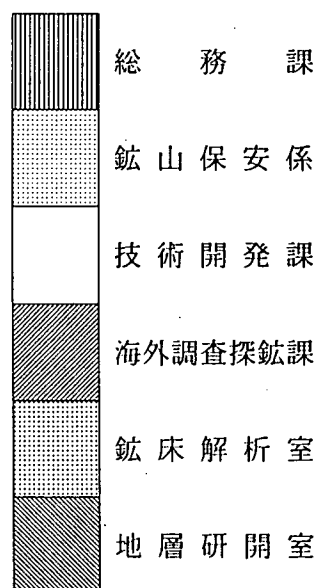
| 課室名 \ 年度  | 元年  | 2年  | 3年  | 4年  | 5年  | 6年  | 7年  |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 総務課       | 15  | 34  | 12  | 20  | 52  | 16  | 367 |
| 鉦山保安係     | 15  | 48  | 2   | 25  | 9   | 64  | 78  |
| 技術開発課     | 153 | 60  | 36  | 18  | 8   | 58  | 45  |
| 海外調査探鉦課   | 46  | 70  | 19  | 26  | 15  | 29  | 19  |
| 鉦床解析室     | 5   | 33  | 6   | 101 | 133 | 64  | 67  |
| 地層科学研究開発室 | 25  | 22  | 195 | 120 | 125 | 122 | 185 |
| 計         | 259 | 267 | 270 | 310 | 342 | 353 | 761 |

〔購入書籍の割合〕

(冊；視聴覚資料も含む)



(冊)



### 2.3 定期講読誌について

新聞を含む定期刊行雑誌・学会誌などの受け入れ、登録を行っている。以下に平成2年度からの課室別契約件数を示す。

〔定期講読契約件数〕

| 課室名 \ 年度  | 2年度 | 3年度 | 4年度 | 5年度 | 6年度 | 7年度 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 総務課       | 54  | 54  | 53  | 54  | 45  | 45  |
| 鉦山保安係     | 14  | 14  | 9   | 9   | 9   | 9   |
| 技術開発課     | 2   | 3   | 3   | 8   | 10  | 10  |
| 海外調査探鉦課   | 33  | 33  | 38  | 26  | 26  | 27  |
| 鉦床解析室     | 5   | 6   | 11  | 12  | 16  | 20  |
| 地層科学研究開発室 | 22  | 24  | 31  | 35  | 40  | 41  |
| 計十(件)     | 130 | 134 | 145 | 127 | 146 | 152 |

### 2.4 情報提供(オンライン検索, 文献複写)

利用者が希望する情報を得るために図書管理室内に設置されたコンピュータでオンライン検索を行っています。オンライン検索や、文献などから得た書誌事項を基に文献入手が迅速に行えるように平成6年10月より(特)日本科学技術情報センターと文献複写単価契約を行いました。この契約により従来、担当者→図書管理室→本社担当部→技術管理室→情報センター経由で行われていた契約手続きが、東濃地科学センター内のみの手続きだけで可能となり、文献入手にかかる時間が大幅に短縮されました。その他に、商用データベースであるニフティサーブを利用し、新聞記事情報など事業団に関連する情報を集め、編集を行い「ニフティニュース速報」として発行を始めました。今後これらの情報提供をオンライン上で行えるようにし、ペーパーレス化に取り組みたいと思います。

〔図書管理室での発行者〕

- ・コンテンツ(不定期)
- ・LIBRARY INFORMATION(隔月:平成7年8月(Na.19号発行))
- ・ニフティニュース速報(不定期:平成7年7月19日現在 Na.99発行)



## 2.5 文書管理業務

事業団内で全社的に進められているOASYSを使った文書交換のサーバのサポートを行っています。東濃地科学センターにおける文書交換用サーバの利用促進とルールを定めた「東濃文書サーバ管理要領書」を作成し、平成7年4月1日より施行を始めました。

「東濃文書サーバ管理要領書」の施行に伴う図書管理室の業務は、

- ①毎月最終金曜日に「文書交換用キャビネット」内不要文書の消去、
- ②登録文書の受付及び登録作業を行っています。

以 上

### C-3 分析業務について

## C-3 分析業務について

永崎靖志

### 1. はじめに

東濃地科学センター・技術開発課・分析グループにおいては、海外調査探鉱課、地層科学研究開発室、技術開発課及び鉱山保安係等より依頼のある岩石試料および水質試料等の分析を定常業務として実施している。一方、業務拡大に伴い種々分析も新たな要求としてあり、手法の改良、改善そして最新分析機器の動向調査も併せて実施している。

### 2. 業務の概要

- 2.1 定常業務を主体に実施した。
- 2.2 最新分析機器の動向調査を実施した。

### 3. 定常業務の実績

#### 3.1 岩石試料

|      |                 |                  |
|------|-----------------|------------------|
| (内訳) | 海外調査探鉱課 .....   | 240試料( 1,244 成分) |
|      | 地層科学研究開発室 ..... | 218試料( 2,134 成分) |
|      | 技術開発課 .....     | 18試料( 316 成分)    |

---

小計 476試料( 3,694 成分)

#### 3.2 水質試料

|      |                 |                  |
|------|-----------------|------------------|
| (内訳) | 地層科学研究開発室 ..... | 350試料( 5,336 成分) |
|      | 技術開発課 .....     | 686試料( 4,020 成分) |
|      | 鉱山保安係 .....     | 74試料( 527 成分)    |

---

小計 1,110試料( 9,883 成分)

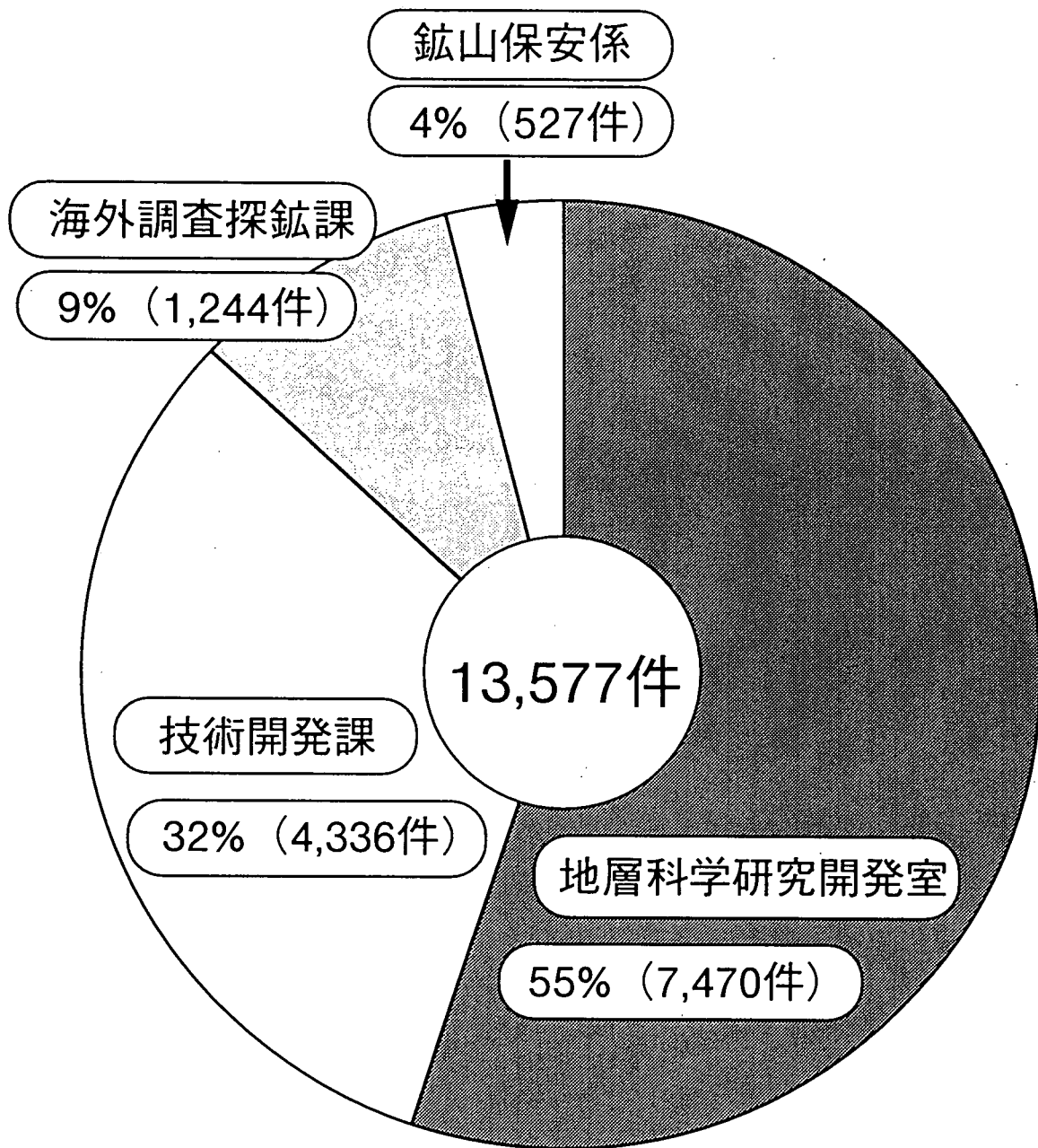
分析総件数 : 1,586試料(13,577 成分)

# 平成 7 年 度 分 析 作 業 実 績 表

(単位：試料件数/成分件数)

| 日             | 月  | H 6     |  | 5      |  | 6        |  | 7       |  | 8        |  | 9       |  | 1 0    |  | 1 1    |        | 1 2      |  | H 7 |         | 2      |          | 3      |          | 合 計        |  |
|---------------|----|---------|--|--------|--|----------|--|---------|--|----------|--|---------|--|--------|--|--------|--------|----------|--|-----|---------|--------|----------|--------|----------|------------|--|
|               |    | 4       |  |        |  |          |  |         |  |          |  |         |  |        |  |        |        |          |  |     |         |        |          |        |          |            |  |
| 地層科学<br>研究開発室 | 岩石 | 6/24    |  | 51/670 |  | 49/1221  |  | 7/154   |  | 51/340   |  | 38/74   |  | 19/76  |  | 3/54   |        | 10/210   |  |     |         | 19/266 |          | 14/266 |          | 218/2134   |  |
|               | 水質 | 46/246  |  |        |  |          |  | 15/197  |  | 52/1189  |  | 36/559  |  | 10/258 |  | 26/581 |        | 38/86    |  |     |         | 34/659 |          | 9/233  |          | 350/5336   |  |
| 技術開発課         | 岩石 | 12/240  |  | 2/24   |  |          |  | 4/52    |  |          |  |         |  |        |  |        |        |          |  |     |         |        |          |        | 18/316   |            |  |
|               | 水質 | 58/313  |  | 45/274 |  | 62/308   |  | 54/292  |  | 77/726   |  | 55/293  |  | 58/312 |  | 62/307 |        | 47/276   |  |     |         | 62/298 |          | 57/283 |          | 686/4020   |  |
| 海外調査<br>探鉱課   | 岩石 |         |  |        |  | 97/1099  |  | 62/63   |  |          |  |         |  |        |  |        | 1/2    |          |  |     | 1/1     |        | 11/11    |        | 240/1244 |            |  |
| 保安係           | 水質 | 1/3     |  |        |  |          |  |         |  |          |  |         |  |        |  |        | 73/524 |          |  |     |         |        |          |        | 74/527   |            |  |
| 小 計           | 岩石 | 18/264  |  | 53/694 |  | 97/1099  |  | 73/269  |  | 51/340   |  | 38/74   |  | 19/76  |  | 3/54   |        | 11/212   |  |     | 68/68   |        | 20/267   |        | 25/277   | 476/3694   |  |
|               | 水質 | 105/562 |  | 45/274 |  | 111/1529 |  | 69/489  |  | 129/1915 |  | 91/852  |  | 68/570 |  | 88/888 |        | 158/886  |  |     |         | 84/445 |          | 96/957 |          | 1110/9883  |  |
| 合 計           |    | 123/826 |  | 98/968 |  | 208/2628 |  | 142/758 |  | 180/2255 |  | 129/926 |  | 87/646 |  | 91/942 |        | 169/1098 |  |     | 152/513 |        | 116/1224 |        | 91/793   | 1586/13577 |  |

# 平成7年度分析成分実績



## C-4 東濃文書サーバ管理要領書

C-4

# 東濃文書サーバ管理要領書

1996年 4 月 1 日

動力炉・核燃料開発事業団

東濃地科学センター

# は じ め に

本要領は、東濃地科学センターの東濃文書サーバ（名称：東濃文書サーバ1、図書管理室設置、OASYSサーバ/OASYS2000DS）を利用するに当たっての管理要領書である。

大洗工学センター／情報センター設置の文書交換用サーバ（OASYS2000DS）の利用に関しては、技術協力部情報システム室編「文書交換用サーバ利用手引書」（1994年8月）を参照のこと。

尚、本文中の資料名のあとに添付ページと、その資料が「東濃文書サーバ1」のどこに保管されているかを示した。

例；資料名(P. / キャビネット名/ ホルダ名)



# 目 次

|                              |   |
|------------------------------|---|
| 1. 東濃文書サーバ1 (OASYS200DS) の概要 | 1 |
| 2. 東濃文書サーバ1の目的               | 2 |
| 2.1 文書交換のための一時保管場所としての利用     |   |
| 2.2 各課室で利用するフォーマット（用紙類）の保管   |   |
| 2.3 東濃地科学センター内で作成、更新した文書の保管  |   |
| 3. 東濃文書サーバ1の構成               | 2 |
| 4. 運用方法                      | 3 |
| 3.1 運用                       |   |
| 3.2 利用手続き                    |   |
| 5. 留意点                       | 4 |
| 5.1 文書交換用キャビネット              |   |
| 5.2 クライアント側（利用者）             |   |
| 5.3 文書交換を行う場合の送り手、受け手の一般的な規則 |   |
| 6. 主な保管文書（保管文書キャビネット）        | 4 |
| 7. その他                       | 5 |
| ――添付資料――                     |   |
| ・サーバ文書登録依頼票                  | 6 |
| ・機器接続・切離し申請書／兼回答書            | 7 |
| ・文書交換用サーバ使用者申請書              | 8 |

1. 東濃文書サーバ1 (OASYS200DS) の概要

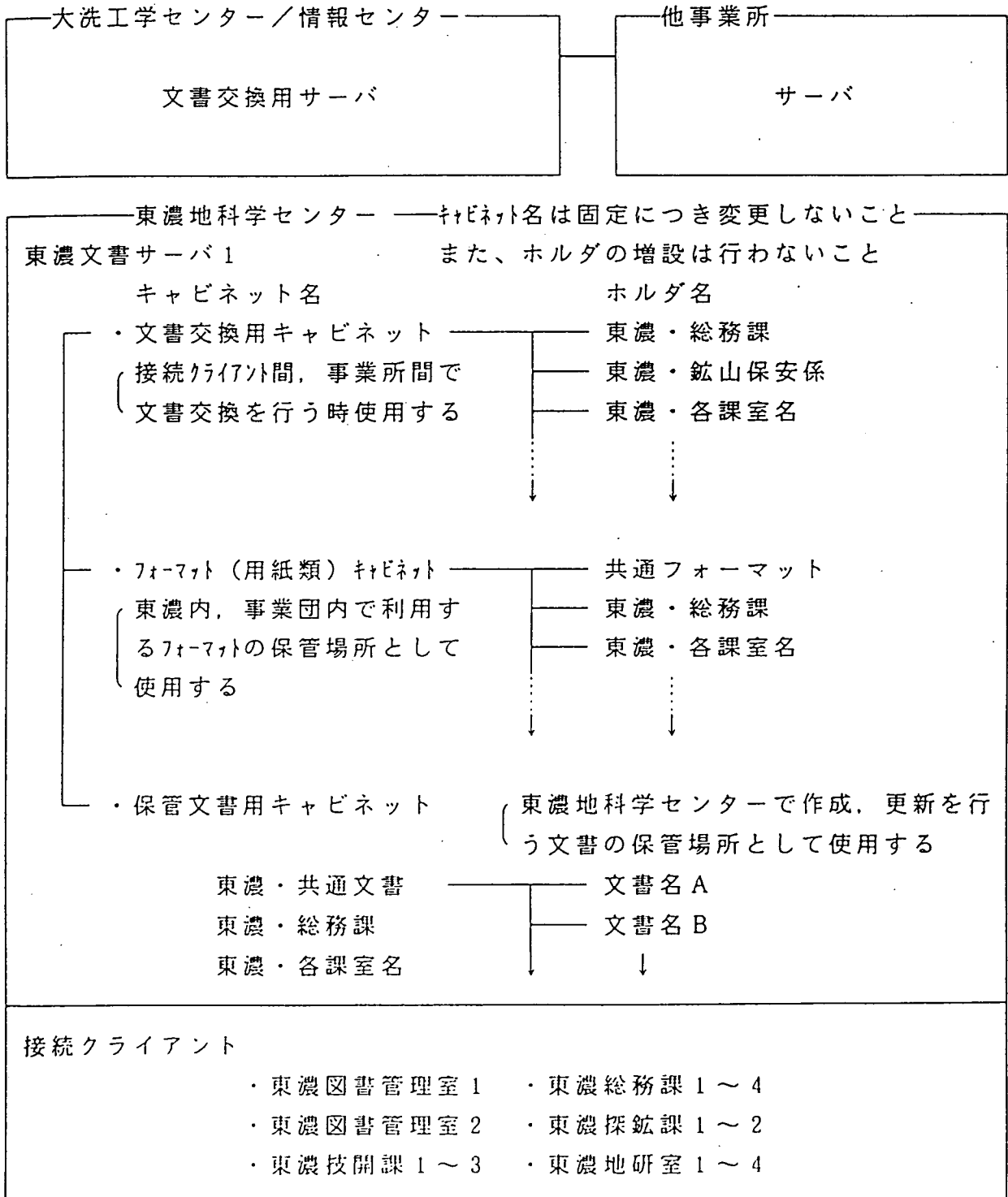
サーバ名称: 東濃文書サーバ1

設置場所: 東濃地科学センター／鉾床解析棟1階／図書管理室内

サーバの仕様: 機種名; OASYS200DS

周辺機器: プリンター(OALBP421/A4, A3, B4, B5 印刷可)

概念図 (平成8年3月現在)



## 2. 東濃文書サーバ1の目的

東濃文書サーバ1は事業所サーバとして次の3つの目的を持っている。

### 2.1 文書交換のための一時保管場所としての利用

事業所間、課室間で文書交換を行うための一時的な保管場所（送信先/受信先）としての利用ができる。

### 2.2 各課室で利用するフォーマット（用紙類）の保管

共通的に利用されるフォーマット（用紙類）を各課室毎のホルダに保管し、利用者に提供することができる。

### 2.3 東濃地科学センター内で作成、更新した文書の保管

共通的に利用される文書（規則、手引書等）を保管し、利用者に提供することができる。それらの文書は、常時最新の文書として保管される。

文書作成課は、最新版（回議書決裁後）のフロッピーディスクを所定の登録用紙（「サーバ文書登録依頼票」（P. 6/フォーマットキャビネット/共通））と共に業連で東濃地科学センターLAN運用管理部署（技術開発課、以下管理部署）へ提出を行う。

## 3. 東濃文書サーバ1の構成

(1) 「東濃文書サーバ1」は、3つのキャビネット構成されており、それらはそれぞれに各課室名のホルダを有する。(P.1 概念図参照)

### ①文書交換用キャビネット

文書交換用キャビネットの中には、各課室単位にホルダが用意されており、自分が所属する課室名内は自由に利用することができる。

### ②フォーマット（用紙類）キャビネット

フォーマットキャビネットの中には、共通各、課室名のホルダが用意されており、事業所/課室で共通に利用するフォーマットを自課室名のホルダ内に保管し、利用することができる。

### ③保管文書キャビネット

東濃地科学センター内で作成、更新される文書の保管場所として利用ができる。キャビネット内には、各課室名のホルダが用意されており、作成文書が保管されている。登録・更新については管理部署が作業を行う。

担当課室は、4.2 (4)の作業を行うこと。

## 4. 運用方法

### 4.1 運用

#### (1) 運用時間

月曜日～金曜日（24時間） 休止時には、あらかじめ周知をおこなう。

#### (2) 一時保管文書の定期的消去

文書交換用キャビネット内の課室別ホルダに一時保管されている文書は、毎月最終金曜日に消去作業を行う。但し、保管期間が7日間に満たない文書については、次月の最終金曜日に消去を行う。消去の際、特に連絡は行わない。

#### (3) バックアップ

文書交換用キャビネット及び、フォーマット（用紙類）キャビネット内の保管文書のバックアップは行わないため、各自原本管理を行うこと。

保管文書キャビネット内の文書については、担当課室から提出された（回議書決裁後の）フロッピーディスクをバックアップフロッピーとし、管理部署において保管を行う。

### 4.2 利用手続き

(1) 新規に機器導入又は、既存機器にクライアント機能をもたせ、東濃文書サーバ1の利用を希望する場合（OASYS プロトコル利用）は、「機器接続・切離し申請書／兼回答書」（P. 7/フォーマットキャビネット/共用）を管理部署へ提出すること。

(2) 大洗／文書交換用サーバの利用を希望する場合担当者は、「文書交換用サーバ使用者申請書」（P. 8/フォーマットキャビネット/共用）に必要事項を記入し、管理部署へ提出を行う。管理部署は申請書により情報センターへの申請を代行する。

上記サーバ以外のOASYSサーバの利用を希望する場合は、各OASYSサーバの管理担当者と直接連絡を取り、利用希望者が登録手続き等を行うこと。

#### (3) フォーマット（用紙類）登録

フォーマットキャビネット内には、各課室名のホルダが設けられており、自課室名のホルダの中では、自由にフォーマットの登録、更新を行うことができ、他課室のホルダ内のフォーマットを利用する事もできる。但し、他課室のホルダ内のフォーマットの変更は絶対に行わないこと。又、フォーマット（用紙類）の他は保管しないこと。管理部署において定期的にチェックを行う。

#### (4) 保管文書登録申請

文書の保管を希望する場合には回議書決裁後、「サーバ文書登録依頼票」（P. 6/フォーマットキャビネット/共用）に必要事項を記入し、フロッピーディスクと共に業連で管理部署へ提出を行うこと。管理部署で文書登録、更新とバックアップ管理を行う。

## 5. 留意点

### 5.1 文書交換用キャビネット

- (1) 文書交換用キャビネットは、一時的な保管場所（送信先、受信先）としての利用のみとする。
- (2) 文書交換用キャビネットは、共用キャビネットとして利用を行うこと。

### 5.2 クライアント側（利用者）

- (1) 使用者名の変更は、トラブル発生の原因となりうるので「機器接続・切離し回答書」で取得している名前（固定）で利用すること。使用者名称を絶対に変更しないこと。
- (2) 複数サーバ利用者は、サーバ利用時にはクライアント側OASYSメニューの「接続サーバ名」及び「共有部門」の選択を必ず確認のうえ利用すること。

### 5.3 文書交換を行う場合の送り手、受け手の一般的な規則

- (1) 送り手は自分の所属するキャビネット、及び書類ホルダに送信すること。
- (2) 受け取りは、送信者の所属する課室名のホルダから受信を行う。

## 6. 主な保管文書（保管文書キャビネット）

以下のリストは、東濃文書管理要領書運用開始日（平成8年4月1日）の時点で保管文書用キャビネットに格納される文書である。今後文書数は増加することが予想されるが本要領書の変更は必要ないものとする。

――東濃文書サーバ1――保管文書キャビネット保管文書――  
〔総務課〕

「事業所規則集」（全27件）

〔鉦山保安係〕

- ① 鉦山保安規則（金属鉦山）
- ② 品質保証計画書及び各要領書

〔技術開発課〕

- ① 作業マニュアル作成要領書（決定版）
- ② 東濃鉦山見学者用ガイドブック
- ③ 東濃鉦山保安規程
- ④ 東濃鉦山出入管理規則
- ⑤ 管理区域出入手順（東濃鉦山）
- ⑥ 保安管理機構図

〔海外調査探鉦課〕

- ① 鉍石標本室における核原料物質の取扱管理要領書
- ② 海外ウラン資源調査探鉍に係わる安全衛生管理要領書
- ③ 職能基準書 海外調査探鉍課

〔地層科学研究開発室〕

- ① 坑内・外試錐作業安全マニュアル

## 7. その他

- (1) メーカーマニュアルについて

操作等詳しく知りたい方は、以下に示すメーカー提供マニュアル（富士通）を参照願います。

|  |
|--|
| クライアント向け：OASYS LAN クライアント操作マニュアル<br>サーバ管理者向け：OASYS 200DS 操作マニュアル |
|--|

- (2) この要領書の施行時期

平成8年4月1日

## サーバ文書登録依頼票

管理元受付No.

|       |          |     |          |
|-------|----------|-----|----------|
| 申請日   | 平成 年 月 日 | 所属  |          |
| 所属長   | 印        | 担当者 | 印        |
| 回議書No |          | 決裁日 | 平成 年 月 日 |

## 登録文書名

.....

.....

| 回数 | 文書更新履歴   |              | 更新<br>作業者<br>チェック欄 |
|----|----------|--------------|--------------------|
|    | 更新年月日    | 備考（タイトルの変更等） |                    |
| 1  | 平成 年 月 日 |              |                    |
| 2  | 平成 年 月 日 |              |                    |
| 3  | 平成 年 月 日 |              |                    |
| 4  | 平成 年 月 日 |              |                    |
| 5  | 平成 年 月 日 |              |                    |
| 6  | 平成 年 月 日 |              |                    |

〔通信欄〕

申請元 - 基幹LAN運用管理部署 - 文書交換用サーバ管理元（入力作業者） - 保管

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課  
電話：029-282-1122（代表）  
ファックス：029-282-7980  
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2005