JAEA-Research 2014-004



# 電磁法による地上物理探査総括報告書

Overall Report of Ground Geophysical Survey using Electromagnetic Method

長谷川健山田信人 小出馨 Ken HASEGAWA, Nobuto YAMADA and Kaoru KOIDE

> 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate June 2014

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency. Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department, Japan Atomic Energy Agency. 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan

Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2014

電磁法による地上物理探査 総括報告書

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

長谷川 健+1,山田 信人\*1,小出 馨

(2014年2月21日受理)

広域地下水流動研究の一環として、平成9年から平成11年にかけて岐阜県東濃地域におい てMT法とCSMT法を組み合わせた地上電磁探査を実施した。その後、花崗岩深部の調査へ のMT法の適用性を検討する試験が実施されたが、この試験において当該地域におけるMT 法調査の問題点が抽出されていた。これを受けて、当時取得した地上電磁探査データの品 質を改めて確認したところ、ほとんどすべての測定点のデータに、JR東海中央本線や中部 電力㈱の瑞浪変電所および送電線に起因していると考えられる人工ノイズの混入が認めら れ、地上電磁探査の解析結果には問題がある事が判明した。

このような結果を招いた最大の要因は,調査対象地域の電磁界ノイズの特徴を精査する ことなく,データ取得の簡便性の観点から,高周波数テンソル式 CSMT 法システムを採用 したことにある。すなわち,CSMT 法や MT 法を用いて地質構造調査を行う場合,特に直 流で運行されている鉄道沿線や市街地近郊においては,事前に調査対象地域のノイズの状 況を詳細に把握しておき,そのノイズに対処可能な探査システムの選定や,測定仕様の決 定を行うことが極めて重要である。

東濃地科学センター(駐在):〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64 +1 地層処分研究開発部門

※1 技術開発協力員

#### Overall Report of Ground Geophysical Survey using Electromagnetic Method

## Ken HASEGAWA<sup>+1</sup>, Nobuto YAMADA<sup>\*1</sup> and Kaoru KOIDE

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received February 21, 2014)

Tono Geoscience Center conducted CSMT and MT surveys in the region of the Toki granite from 1997 to 1999, as a part of the Regional Hydrogeological Study. After these surveys were performed, applicability of MT method to prospecting of the deeper part of the granite was evaluated. As a result, several problems of CSMT and MT surveys were pointed out.

Accordingly, we checked the quality of data obtained through the surveys and found out that the interpretation results of the underground resistivity distribution are deficient in reliability because almost all data contain large artificial electromagnetic noise.

Major reason behind its poor results is adoption of the high-frequency tensor CSMT system. Because of its ease of data acquisition, it was adopted without investigation of electromagnetic noises around the survey area.

This fact indicated that we must investigate details of the noise around survey area in advance and select optimum equipment and survey specifications, which can distinguish a signal from data containing such large noise.

Keywords: CSMT Survey, MT Survey, Artificial Electromagnetic Noise, Data Quality

<sup>+1</sup> Geological Isolation Research and Development Directorate

**<sup>※</sup>**1 Collaborating Engineer

1. はじめに
<ol> <li>調査エリアの地勢および地質について</li></ol>
2.1 平和口音で用いる座伝示       2         9.9 調本       1         7.1 平和口音で用いる座伝示       2
2.2 調査エリアの地勢
2.3 調査エリアの地貨2
3. CSMT・MT 法調査について 5
3.1 調査実施の経緯5
3.2 測定仕様
3.3 測定点配置
3.4 計画段階における電磁ノイズに対する認識11
3.5 データの取得11
<b>3.6</b> データ解析結果の概要11
<ol> <li>CSMT・MT 法データの品質について</li></ol>
4.1 データの品質チェックの必要性 21
4.2 品質チェックの方法とその結果21
4.3 考察
5. 結論
参考文献
付 録

## Contents

1. Introduction
2. Geographical features and Geology of survey area
2.1 Coordinate system
2.2 Geographical features
2.3 Geology
3. Summary of CSMT and MT surveys
3.1 Circumstances of survey
3.2 Prospecting specification
3.3 Arrangement of measuring points7
3.4 Understanding of electromagnetic noises in planning stage 11
3.5 Data acquisition11
3.6 Interpretation results
4. Data quality obtained by CSMT and MT surveys
4.1 Necessity of quality check
4.2 Quality check and results
4.3 Discussion
5. Conclusion
References
Appendix

## 1. はじめに

平成9年から平成11年にかけて、動力炉・核燃料開発事業団(現,独立行政法人日本原子 力研究開発機構)東濃地科学センターは、広域地下水流動研究<sup>1)</sup>の一環として、岐阜県東濃 地域の花崗岩分布域を対象に、MT法とCSMT法<sup>注)</sup>を組み合わせた地上電磁探査法(以下, CSMT・MT法と略す)の適用性を検討するための調査を実施した。この調査においては、 100kHz~1kHzの周波数帯では人工の電磁界を、1kHz~10Hzの周波数帯では自然の電磁界 を信号源として利用した。調査結果については篠原(1999)<sup>2)</sup>および大里・山根(2000)<sup>3)</sup>にお いてすでに報告されている。

この調査に続き,花崗岩深部の調査へのMT法の適用性を検討するため,平成11年3月に 機構所有地である正馬様用地(位置については図2-2参照)において,100Hz~0.01Hzの周 波数帯を対象に,自然の電磁界を信号源とするMT法の適用試験を実施した。その結果,岐 阜県瑞浪市付近には,JR東海中央本線および中部電力㈱の瑞浪変電所や送電線に起因する と考えられる振幅の大きな広域ノイズが存在し,特に昼間に測定された時系列データは, このノイズによる汚染がひどく,当時の技術では調査に利用する自然の電磁界信号を分離 できないことが明らかになった<sup>4</sup>。

上述したCSMT・MT法調査では、データ取得は昼間に行われ、1kHz~10Hzの周波数帯 では自然の電磁界を信号源として利用したことから、取得されたデータ、特に1kHz以下の データの品質には問題がある可能性が高いと考えられる。しかし、これまで、篠原(1999)<sup>20</sup> および大里・山根(2000)<sup>30</sup>に示されている一次元および二次元比抵抗構造解析結果について、 その信頼性に対する技術的評価がなされていなかった。そこで今回、残されていたディジ タルデータを用いて測定点毎にデータの品質を点検し、その結果に基づいて比抵抗構造解 析結果の信頼性について検討した。

本報告書の構成を以下に示す。第2章では調査エリアの地勢等を簡単に説明する。第3章 ではCSMT・MT法のデータ取得仕様や比抵抗構造解析結果について概説する。第4章では 測定点毎のデータの品質の点検結果を記す。そして,第5章では第4章の結果を踏まえて比 抵抗構造解析結果の信頼性について述べる。

- 注) MT法: MTはMagneto-Telluricの略で、地磁気地電流法と訳されることもあるが、MT 法という用語が一般的に使用されている。地磁気の擾乱に起因する自然の電磁 界を信号源として用いることから、探査に用いる信号源を用意する必要がない という利点を有している。地下数百m以深の比較的深部の比抵抗構造の探査に 用いられることが多い。
  - CSMT法: CSはControlled Sourceの略。MTについては上述の通り。自然の電磁界は浅部の探査に必要な高周波成分が微弱であることから、これを人工の電磁界で置き換えて行うMT法のこと。

## 2. 調査エリアの地勢および地質について

## 2.1本報告書で用いる座標系

本報告書で用いる座標系は,調査当時の国家座標系であった東京測地系(旧測地系)とし,座標値は国土調査法に基づく平面直角座標系VIIの座標値を使用する。この座標系では南北方向がX軸,東西方向がY軸となる(図2-1参照)。座標軸の原点は北緯36度0分0秒,東経137度10分0秒である。



図2-1 座標系の説明

#### 2.2 調査エリアの地勢

図 2-2 に調査エリアの地形図を示す。当エリアでは東側エリア境界の中央付近からエリア 南西隅に向かって土岐川が流れており、この土岐川にほぼ沿う形で JR 東海中央本線、国道 19 号線および中央自動車道が敷設されている。また、土岐川に沿った低地部には東から瑞 浪市街、土岐市街が広がっている。当エリアの地形は、土岐川とその支流に沿った標高 200 m前後の低地部、その周囲に広がる標高 300mから 400mの丘陵部、そして北東端の標高 500m以上の高地部に大まかに分類できる。

#### 2.3 調査エリアの地質

図 2-3 は産業技術総合研究所地質調査総合センター発行 20 万分の1日本シームレス地質 図 web 版から作成した調査エリアの地質図である。当エリアには白亜紀の領家花崗岩類の 岩体が広く分布しており、これを基盤として、その上位を新第三紀中新統の瑞浪層群が不 整合で覆い、さらにその上位を固結度の低い新第三紀中新統~第四紀更新統の瀬戸層群が 不整合で覆っている。エリア中央部には、花崗岩および瑞浪層群に変位を与えている月吉 断層が、エリア南東部には山田断層帯が分布している<sup>5</sup>。また、エリア中央やや東から南に かけて土岐・瑞浪盆地が発達している<sup>6</sup>。



図 2-2 調査エリアの地形



図 2-3 調査エリアの地質

(産業技術総合研究所地質調査総合センター承認番号第 60635130-A-20131203-001 号)

## 3. CSMT・MT 法調査について

#### 3.1 調査実施の経緯

平成8年当時,広域地下水流動研究の研究対象エリアである約10km四方の領域を対象 にした空中物理探査が計画されていた。空中物理探査では空中電磁探査,空中磁気探査, 空中γ線探査の各データが取得されることになっており,空中電磁探査により研究対象エ リアの比較的浅部(数+mよりも浅い部分)の比抵抗構造が明らかになることが期待され ていた。

研究対象エリアの深部の比抵抗構造を明らかにするためには地上物理探査を実施する必要があり、どういう探査手法を採用すべきかが検討された。当時実用化されていた手法として、比抵抗法とMT法が候補として挙げられたが、比抵抗法では探査対象深度の数倍程度の長さの測線を地上に展開する必要があり、1,000m程度までの深度を対象とし、さらに10km四方の領域を面的にカバーする調査には不向きであると判断された。

MT法では地磁気の擾乱に起因する自然の電磁界を信号源として用いることから,信号源 を用意する必要がなく,測定点として数十m四方の用地を確保できればデータ取得が可能で ある。ただし,MT法の利点は同時に欠点ともなり得るものであり,利用可能な信号の周波 数やその強度はすべて自然まかせである。特に,自然の電磁界では浅部の探査に必要な 100Hz以上の周波数を持つ信号の強度は非常に小さい。この欠点を補うために考案されたの が,探査に使用する電磁界を人工的に発生させ,これを利用するCSMT法である。しかし, 通常のCSMT法では両端を接地した長さ数kmのワイヤーに交流電流を流して電磁界を発生 させており,これではMT法が本来持っているデータ取得の簡便さが失われてしまう。

そこで、MT法の探査システムについて調査を行ったところ、高周波数テンソル式CSMT 法システムであるSTRATAGEMシステムという探査システムが見つかった。このシステム では、100kHz~1kHzの周波数帯については可搬型のエアループアンテナで電磁界を発生 させることでCSMT法でのデータ取得を行い、1kHz~10Hzの周波数帯については自然の電 磁界信号を用いてMT法でのデータ取得が行える。探査可能な深度は電磁界の周波数と大地 の比抵抗で決まるが、大地の平均の比抵抗を100Ωmと仮定すると、周波数10Hzでの探査可 能な深度は約1,500mとなる。以上の理由により、STRATAGEMシステムを用いたCSMT・ MT法調査を実施することになった。

## 3.2 測定仕様

CSMT法やMT法では、地表面上において互いに直交する水平方向の電界Eと磁界Hを測定し、この測定値から地表面における電磁界のインピーダンスZを求める。このZは複素数であり直感的に扱いにくいため、通常は見掛比抵抗 $\rho_a$ と位相 $\phi$ に変換して解析に使用する。Zと $\rho_a$ および $\phi$ との関係は以下のとおりである。

$$Z = \frac{E}{H}$$
(3-1)  

$$\rho_a = \frac{|Z|^2}{2\pi f \mu_0}$$
(3-2)  

$$\phi = \arg(Z)$$
(3-3)

ここで、f は電磁界の周波数、 $\mu_0$ は真空の透磁率である。すなわち、見掛比抵抗 $\rho_a$ は複素数の絶対値に相当する量であり、見掛比抵抗 $\rho_a$ と位相 $\phi$ は常に一組の数として取り扱わなければならない。

大地が均質である場合や水平成層構造を成している場合は、上式で求められる見掛比抵 抗および位相で何の問題も無いのであるが、大地が二次元あるいは三次元構造をしている 場合はインピーダンスZの値、すなわちρaおよびφの値は、電界Eおよび磁界Hの測定方向 に依存する。そこで、本調査においては図3・1に示すように、電界2成分、磁界2成分の測定 を行うテンソル測定を実施することにした。すなわち、測定点毎に測定に最も適した測定 用座標系x-yを設定し、x方向に2本の電極Px1およびPx2を、y軸方向にも2本の電極Py1およ びPy2を設置し、それぞれの電極間の電位差を電極間の距離(本調査では30m)で除するこ とにより電界ExおよびEyを求める。また、x軸およびy軸方向を向いた2つの磁力計を用いて 水平方向の磁界Hxおよび磁界Hyを測定する。



- 6 -

ここで、 $Z_{xx}=E_x/H_x$ ,  $Z_{xy}=E_x/H_y$ ,  $Z_{yx}=E_y/H_x$ および $Z_{yy}=E_y/H_y$ とすれば、インピーダンステンソルZは次式で定義され、

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{xx} Z_{xy} \\ Z_{yx} Z_{yy} \end{pmatrix}$$
(3-4)

電界Eと磁界Hの関係式は,

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx} Z_{xy} \\ Z_{yx} Z_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix}$$
(3-5)

となる7)。

インピーダンスZをテンソル量として求めておけば、テンソルの回転により任意の方向の インピーダンステンソルZを計算で求めることができる。ここで、テンソル測定の場合の見 掛比抵抗および位相は次式で求められる。

$$\rho_{axy} = \frac{\left| Z_{xy} \right|^2}{2\pi f \,\mu_0} \tag{3-6}$$

$$\phi_{xy} = \arg\left(Z_{xy}\right) \tag{3-7}$$

$$\rho_{ayx} = \frac{\left| Z_{yx} \right|^2}{2\pi f \mu_0}$$
(3-8)

$$\phi_{yx} = \arg\left(Z_{yx}\right) \tag{3-9}$$

なお、先にも述べたように、100kHz~1kHzの電磁界源には人工の信号源を利用した。こ れには、測定点から200m~300m離して設置した互いに直交する2組のエアループアンテナ (半径が約2mの半円形をしており、移動の際は折りたためる)を利用した。また、自然の 電磁界信号の周波数帯域は1kHz~10Hzである。調査に用いたSTRATAGEMシステムの仕 様の詳細については篠原(1999)<sup>2)</sup>を参照されたい。

## 3.3 測定点配置

図3-2に測定点の位置を示す。測定点配置の考え方は以下の通りである。

- (1)広域地下水流動研究の研究対象エリアである約10km四方の領域を面的にカバーするために、1km<sup>2</sup>に1点の割合で計100点の測定点を配置する。
- (2)正馬様用地およびその西側に分布する花崗岩の内部の比抵抗構造に関する情報を取 得可能かどうかについて確認するために、計50点の測定点をライン状に配置する。

This is a blank page.

## JAEA-Research 2014-004





– 9  $\sim$  10 –

データ取得の妨げとなると考えられた地表の人工構造物(送電線や工場・市街地など), 土地の利用状況(田畑やゴルフ場など),アクセスの難易度および立ち入りの可否などか ら結果的に図3-2に示した144点を測定点として選定した。なお,正馬様用地の東側にライ ン状の測定点を配置しなかったのは以下の理由による。正馬様用地の東側では土岐・瑞浪 盆地が発達しており,瑞浪層群の層厚が厚くなる。電磁法においては,その探査深度は大 地の比抵抗の平方根に比例するが,瑞浪層群の比抵抗は数Ωmと極めて低いため,正馬様用 地の東側では探査可能な深度が相対的に浅くなり,STRATAGEMシステムでは花崗岩内部 の比抵抗構造に関する情報を取得するのは困難であると判断した。

## 3.4 計画段階における電磁ノイズに対する認識

直流電車の帰還電流のレールからの漏洩に起因するノイズ(以下,DCノイズと呼ぶ)が MT法データの品質に大きな影響を与えることは以前から知られており,その影響範囲は線 路から数十km以上に及ぶ場合があることが高倉他(1994)<sup>8)</sup>で指摘されていた。図2-2に示し たように,調査エリア内にはJR東海中央本線が敷設されており,直流電車が運行されてい るが,計画段階ではDCノイズは通常1Hz以下の低周波数帯の信号に影響を及ぼすものであ るという認識しか持ち合わせていなかった。また,送電線については「電気良導体」として 測定値に影響を与える可能性が考えられたため,測定点は送電線からある程度の距離をおい て設定したが,その広域的影響については認識していなかった。

すなわち計画段階では、自然の電磁界信号を用いる1kHz以下のデータの品質については 多少の不確定要素があるものの、人工の電磁界を用いる1kHz以上のデータはS/N比の高い 良質のデータが確実に取得できるものと考えられた。

## 3.5 データの取得

データ取得は昼間に実施した。各測定点では、地表の状況や地形の影響を受けにくい方向 に測定用座標系を設定し、データ取得を行った。STRATAGEMシステムではリアルタイム でデータ処理が可能であり、測定終了後にパワースペクトラム、インピーダンステンソル、 見掛比抵抗および位相の値をコンソール上で確認できる。測定現場では、見掛比抵抗の連続 性に主眼を置いたデータの品質チェックが行われ、見掛比抵抗の連続性が悪いと判断された 場合は、電極や磁力計の位置をずらせたり、測定用座標系を回転したりして再測定を実施し た。1測定点のデータ取得に要した時間は1~2時間程度(移動に要する時間を除く)であっ た。なお、測定点の位置情報は携帯型のGPS受信器および簡易測量を実施して取得した。

## 3.6 データ解析結果の概要

測定用座標系の向きは測定点毎にばらばらであったが、測定結果は北をx軸とする座標系 にそろえて整理した。この場合、ρaxyは南北方向の電界、東西方向の磁界を測定した時に 得られる見掛比抵抗、ρayxは南北方向の磁界、東西方向の電界を測定した時に得られる見 掛比抵抗ということになる。

図3・3は周波数毎の見掛比抵抗ρaxyの平面図である<sup>2)</sup>。電磁法においては、周波数が高い ほど浅部の比抵抗に関する情報を、周波数が低いほど深部の比抵抗に関する情報を取得でき る。図3・3からは土岐・瑞浪盆地やそれに付随するチャンネル構造の発達の様子を読み取る ことができる。ただし、探査深度は大地の比抵抗に依存するので、図3・3は同一深度の比抵 抗分布を表している訳ではない。そこで、一次元の簡易解析法であるボスティックインバー ジョン<sup>90</sup>を用いて各標高における比抵抗分布を求めた。その結果を図3・4に示す<sup>2)</sup>。図3・4よ り、標高0m以深には低比抵抗な堆積岩は存在しないものと考えられる。なお、図3・4の(c)、 (d)および(e)はほとんど変化がなく、ほぼ同じ位置に周囲に比べ若干比抵抗の低い部分が現 れているが、これは浅部の低比抵抗層の存在が深部の解析結果に影響を与えた結果現れた偽 像であると考えられ、一次元の簡易解析法であるボスティックインバージョンの解析精度の 限界を示しているものと考えられた。

そこで、解析精度がより高い二次元比抵抗構造解析を実施した。図3-5は二次元比抵抗構 造解析を行った断面位置を示したものであり、図3-6がその解析結果である<sup>3)</sup>。低比抵抗部 が堆積岩に、高比抵抗部が基盤岩である花崗岩に対応しているものと考えられるが、低比抵 抗部から高比抵抗部への比抵抗の変化は遷移的であり、その境界深度は必ずしも明瞭ではな い。これは、比抵抗の解析過程で解の発散を防ぐため、比抵抗は滑らかに変化するという拘 束条件が設定されていることに起因しているものと考えられた。なお、ここで用いられた解 析手法の詳細については大里・山根(2000)<sup>3</sup>を参照されたい。

## JAEA-Research 2014-004





·6200 -630 -6400 -65000

-6600

-67000

-6900

(c) 1kHz



10, 000 3,000

(d) 100Hz

見掛比抵抗 (Ωm)

7000m 8000m 9000m

10000m 11000m (東京測地系W)



(e) 10Hz 図3-3 各周波数における見掛比抵抗平面図(篠原(1999)2)に加筆・修正)

## JAEA-Research 2014-004



図3-4 ボスティックインバージョンで得られた各標高における比抵抗の平面分布 (篠原(1999)<sup>2)</sup>に加筆・修正)



図3-5 二次元比抵抗構造解析の断面位置



図3-6 二次元解析結果 (大里・山根(2000)<sup>3)</sup>を編集) (1/3)



This is a blank page.











## 4. CSMT・MT 法データの品質について

## 4.1 データの品質チェックの必要性

MT法が花崗岩深部(具体的には1,000m以深)の比抵抗構造の調査法として利用可能で あるかどうかを検討するため,CSMT・MT法調査終了後の平成11年3月,機構所有地であ る正馬様用地(位置については図2-2参照)において,100Hz~0.01Hzの周波数帯を対象に, 自然の電磁界を信号源とするMT法の適用試験を実施した<sup>4)</sup>。本適用試験では述べ3日間に わたり,昼間および夜間において自然信号の時系列データを取得した。この時系列データを 処理した結果,岐阜県瑞浪市付近には,JR東海中央本線および中部電力㈱の瑞浪変電所や 送電線に起因すると考えられる振幅の大きな広域ノイズが存在し,特に昼間に測定された時 系列データはこのノイズによる汚染がひどく,当時の技術では調査に利用する自然の電磁界 信号を分離できないことが明らかになった。

CSMT・MT法調査では、データ取得は昼間に行われ、1kHz~10Hzの周波数帯では自然の電磁界を信号源として利用したのであるから、取得されたデータ、特に1kHz以下のデータの品質には問題がある可能性が高いと考えられる。図4・1にJR東海中央本線、瑞浪変電所および送電線の位置とCSMT・MT法調査の測定点位置との関係を示す。

#### 4.2品質チェックの方法とその結果

測定データがディジタルで残されていたことから,見掛比抵抗および位相の値をグラフ化 し,その品質を目視で確認した。DCノイズの特徴は,見掛比抵抗を両対数グラフにプロッ トした時に,見掛比抵抗が45°あるいはそれ以上の傾きで増加し,位相は0°(正確にはφ<sub>xy</sub> の場合は0°,φ<sub>yx</sub>の場合は-180°)近くの値を取るというものである<sup>8</sup>。そこでまず,見掛比 抵抗の連続性とDCノイズの有無について確認を行った。その結果,測定点144点の内,見 掛比抵抗の連続性が非常に悪いと判定された測定点が20点,DCノイズの混入が認められる と判定された測定点が71点存在した。

さらに,位相の変化は見掛比抵抗の変化よりも穏やかなのが一般的であるが,グラフを確認していく中で,位相が不自然に変化する測定点が多々あることが判明した。その「不自然 さ」については以下のように可能な限り定量化した。

①異常値の存在:  $\phi_{xy}$ については90°を上回る,あるいは0°を下回る値が存在する。

φyxについては-90°を上回る,あるいは-180°下回る値が存在する。

②値のギャップ: 30°以上の値のギャップが存在する。

③不自然な折れ曲がり:位相曲線が不自然に折れ曲がる。

④値の急変:連続する周波数5点以内で30°あるいはそれ以上値が変化する。

⑤0°前後あるいは-180°前後の値の連続: φ<sub>xy</sub>については0°前後の値が, φ<sub>yx</sub>については
 -180°前後の値が16周波数以上連続する。(連続する16周波数とは,最初の周波数と最後の周波数で値が10倍異なることを意味している)



図4-1 測定点とJR東海中央本線・送電線等との位置関係

①~⑤の例を図4-2に示す。この図でφ<sub>yx</sub>の値については-180°を下回る場合,複素数が存 在する象限が第3象限から第2象限に移行するため,正の領域に値をプロットしてある。よ って,縦軸の+180°を-180°,+135°を-225°と読み替えていただきたい。位相の変化が「不 自然」であると判定された測定点の数は144点中132点に及び,その内の61点では1kHz以上 の周波数帯で不自然な変化が認められた。先にも説明したように,100kHz~1kHzの周波 数帯は人工の電磁界を用いて測定を行っており,そのS/N比が高いことは当然のことと考え られたが,4.1で述べた「広域ノイズの影響」はこの周波数帯のデータ,すなわちCSMT法 のデータにも及んでいたことになる。



図4-2 不自然な位相の変化の例(○:xy, ×:yx)

データ品質の確認結果を表4-1に示す。表4-1では、見掛比抵抗の連続性が非常に悪いと判定された測定点には「 $\rho_a$ の連続性」の欄に「悪い」と記した。次に、DCノイズの混入が認められると判定された測定点には「DCノイズ」の欄に「有り」と記した。ただし、見掛比抵抗は45°の傾きで増加するが、位相の値が0°あるいは-180°近くの値を取らない測定点については「?」を付けた。「?」が付いた測定点は全部で7点あるが、この7点はDCノイズの混入が認められると判定した測定点71点には含めていない。さらに、位相の変化が「不自然」と判定された測定点には、認められた不自然さの番号(先に定義した番号①~⑤)を記した。ただし、1kHz以上の周波数帯で「不自然」が認められた場合は番号の右肩に「h」

測定点	<sub>卬a</sub> の連続性	DCノイズ	位相の変化					位相の変化	
			xy	yx	測定点	ρ <sub>a</sub> の運続性	DC117	xy	yx
st006	—	_	_	12	st067	_	有り	1	15
st007	—	?	14	-	st068	悪い	_	(1)h2	(1)h2h
st008	—	?	124	124	st069	_	有り	$1^{h}2^{h}$	12
st009	_	有り	?	12	st070	_	有り	(1)(5) <sup>h</sup>	(5) <sup>h</sup>
st010	—	有り	4	134	st072	_	_	(12 <sup>h</sup>	1
st011	悪い	有り	12	12	st073	_	有り	(3)h(5)	(5) <sup>h</sup>
st012	悪い	_	12	$(123)^{h}$	st074	_	_	3 <sup>h</sup> 4	(4) <sup>h</sup> (5) <sup>h</sup>
st013	悪い	?	$(124)^{h}$	12	st075	_	—	(4) <sup>h</sup>	(3) <sup>h</sup>
st014	—	有り	2 <sup>h</sup> 5 <sup>h</sup>	(12 <sup>h</sup>	st076	悪い	—	$(12)^{h}(4)^{h}$	24 <sup>h</sup>
st015	悪い	有り	(12 <sup>h</sup>	$(12)^{h}(5)^{h}$	st077	—	—	24 <sup>h</sup>	12
st018		-	12	_	st078		有り	(5) <sup>h</sup>	4
st019	_	_	(12 <sup>h</sup>	1	st080	悪い	—	$1^{h}2^{h}$	(1)h2h
st020		—	(1)(5) <sup>h</sup>	$1^{h}3^{h}4^{h}$	st085	悪い	_	124	12
st021	-	?	25 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup> 5	st086	—	有り	$^{h}$	5
st024	—	-	14	12	st087	—	有り	12	3h4h5
st025	_	_	4	14	st088	_	_	_	14
st026	—	_	24	2345	st089	_	?	1	134
st027	_	_	1	(13 <sup>h</sup> 4)	st090	_	有り	14	5
st028	_	有り	(1)3 <sup>h</sup> 5)	(1)(2)(3) <sup>h</sup>	st091	_	有り	(5)	5
st029	悪い	有り	(1)(2) <sup>h</sup>	(1)(2)(3) <sup>h</sup>	st092	_	有り	25	5
st030	_	有り	(5) <sup>h</sup>	$(3^{h}(4)^{h}(5)^{h})$	st093	_	_	45	45
st033	悪い	有り	(1) <sup>h</sup> (2) <sup>h</sup>	$(1)^{h}(2)^{h}$	st094	_	有り	15	15
st034	悪い	有り	(1) <sup>h</sup> (2) <sup>h</sup>	$(1)^{h}(2)^{h}$	st095	_	有り	14	34
st035	_	有り	5	5	st098	_	有り	5	5
st036	_	有り	2	345	st100	_	有り	5	5
st038	—	有り	(5)	45	st101	_	—	2 <sup>h</sup> 5	$3^{h}4^{h}5^{h}$
st039	—	有り	3 <sup>h</sup> 45	45	st102	_	—	—	-
st040	—	有り	(5)	2 <sup>h</sup> 5 <sup>h</sup>	st103	_	_	?	4
st041	悪い	_	$1^{h}2^{h}$	(1)h2)h	st104		_	45	35
st042	_	有り	(4) <sup>h</sup> (5)	?	st105	_	_	(5)	45
st043	_	有り	25	$(13)^{h}(4)^{h}$	st106		有り	5	-
st044	—	_	(5)	(1)2 <sup>h</sup>	st108	—	_	34	34
st045	_	_	_	$2^{h}4^{h}5$	st109		_	_	-
st046	_	_	_	-	st110		_	2 <sup>h</sup> 5	5
st047	_	有り	5	5	st111		—	5	5
st048	_	_	(1)(2)	(5)	st112	_	有り	(5)	34
st049	_	- +u	(1)(2)	(1)(2)(4)	st113	_	有り	(5)	4)5
		1月り	25		st114		 	(Ē)h	() ()
st051			5		st115		<u> </u>	5	0.5
st052	_	  	 	45	st116	_	「」「」	13	(5)
st055	_	有り	_	345	st117		有り	(5)	(4)(5)
st054	_	有り	(3) <sup>h</sup> (5)		et110	_	_	(5)	3h4h5
at056	_	有り	(5)	<b>(4</b> )	st113	悪い	_	1 <sup>h</sup> 2 <sup>h</sup> 3 <sup>h</sup>	(1)2 <sup>h</sup>
at057	_	有り	(5)	্র (ব) <sup>h</sup>	st121		有り	(5)	(5)
st058	_	有り	(5)	(5)	st192	_	?	?	?
st050	_	有り	(5) <sup>h</sup>	(5)	st125	_		(5)	(5)
st063	悪い	_	(1)2 <sup>h</sup> a	(2) <sup>h</sup> (1)	st120	_	有り	(5)	(5)
et062	_	_	2	(13 <sup>h</sup> a)	e+120	_	有り	(4)(5)	(4)(5)
at064	_	_	-	13 <sup>h</sup> A	at 191	_	有り	(1) <sup>h</sup> (5) <sup>h</sup>	(1) <sup>h</sup> (5) <sup>h</sup>
st065	_	有り	(5)	(4)(5)	st139	_	有り	(4)(5)	(5)
st066	_	有り	15	(1)(3) <sup>h</sup> (4)	st133	_	有り	<u>4</u> 5	(4)(5)

表4-1 データ品質の確認結果 (1/2)

			位相の変化					位相の変化	
測定点	<sub>pa</sub> の運続性	DC	xy	yx	測定点	<sub>ρa</sub> の連続性	DCJ4X	xy	yx
st135	-	-	(5) <sup>h</sup>	(5) <sup>h</sup>	st157	_	有り	3h4h5	5
st136	悪い	-	$1^{h}4^{h}$	$1^{h}4^{h}$	st158	—	有り	—	45
st137		1	34	—	st163	-	有り	34	45
st138	_	有り	(4) <sup>h</sup> (5) <sup>h</sup>	(4) <sup>h</sup> (5) <sup>h</sup>	st164	_	-	2	-
st139	_	-	12	123	st165	_	有り	3 <sup>h</sup>	(5)
st140	—	—	—	-	st166	_	_	3h45	_
st141	—	有り	?	5	st168	悪い	—	12	12
st142	—	有り	(4 <sup>h</sup> (5) <sup>h</sup>	3	st169	悪い	-	12	12
st143	—	_	—	—	st170	_	?	—	_
st144	悪い	—	12	12	st171	_	有り	(5)	25
st146	—	_	_	-	st172	_	有り	4	?
st148	—	—	—	-	st173	_	_	45	45
st149	—	—	2	-	st174	_	—	34	34
st150	—	—	—	-	st190	_	有り	3 <sup>h</sup> 5	$2^{h}$
st151	—	_	2	—	st200	悪い	_	4	14
st152	—	有り	(5)	5	stw01	_	有り	5	2 <sup>h</sup>
st153	—	有り	$3^{h}4^{h}5^{h}$	$3^{h}4^{h}5$	stw04	—	—	(1)h2	12
st154	_	有り	3 <sup>h</sup> 5	_	stw05	悪い	_	$1^{h}2^{h}$	$1^{h}2^{h}$
st155	—	-	?	(4) <sup>h</sup> (5) <sup>h</sup>	stw06	_	有り	4	(5)
st156	_	-	_	_	stw08	_	有り	(2) <sup>h</sup>	2

表4-1 データ品質の確認結果 (2/2)

を付けて区別した。

表4-1の結果を図示したものを図4-3および図4-4に示す。図4-3では見掛比抵抗の連続性が 非常に悪いと判定された測定点は、DCノイズの有無および位相の変化の不自然さの有無に かかわらず黒色で、DCノイズの混入が認められると判定された測定点は、位相の変化の不 自然さの有無にかかわらず赤色で表示してある。図4-4は位相の変化の不自然さが1kHz以上 の周波数帯に現れた測定点と1kHz以下の周波数帯に現れた測定点を区別して、その位置を 図2-3の地質図上にプロットしたものである。

なお,全測定点の見掛比抵抗および位相のグラフと各々のデータに対する所見については 付録として本報告書に添付した。

## 4.3 考察

3.5節で述べたように、測定現場では見掛比抵抗の連続性に主眼を置いたデータの品質管 理が行われたのであるから、見掛比抵抗の連続性が非常に悪いと判定された測定点数が144 点中20点であったいうのは妥当な結果であると思われる。

DCノイズについては、その特徴が「見掛比抵抗が45°あるいはそれ以上の傾きで増加し、 位相は0°近くの値を取る」というものであるが、花崗岩のように比抵抗が非常に高い岩体 が低比抵抗層の下に存在する場合でも見掛比抵抗は45°に近い傾きで増加していき、位相の 値は0°あるいは-180°にかなり近づく(ただし、0°や-180°近くの値が連続するということ



図4-3 データの品質の確認結果(その1)



図4-4 データの品質の確認結果(その2) (地質図の凡例については図2-3参照のこと) はない)。従って, DCノイズの混入が認められた測定点では, 花崗岩の存在による見掛比 抵抗の増加の効果と, DCノイズによる見掛比抵抗の増加の効果が足し合わされて測定値に 現れている場合があるものと考えられる。DCノイズが認められた71点の測定点の分布を図 4-3で確認してみると, その位置はJR東海中央本線や送電線からの距離が関係しているよう にも見える。しかし, これに従わない測定点も多数存在し, 他の要因(例えば地質分布など) との関連についても検討してみたが、その規則性を明らかにすることはできなかった。

前節で,位相の変化が「不自然」であると判定された測定点の数は132点あり,その内の 61点では1kHz以上の周波数帯,すなわちCSMT法の位相のデータに「不自然」が認められ たことを述べた。この61点の位置を図4-4で確認してみると,JR東海中央本線からの距離が 近く,かつ花崗岩分布域内に位置する測定点が数多く存在する傾向があるように見える。こ の考察が正しいならば,広域ノイズの影響はノイズ源からの距離だけでなく,測定点直下の 岩盤の比抵抗によってその影響の度合いが異なり,岩盤の比抵抗が高いほど広域ノイズの影 響を受けやすいということになる。

今回の確認作業で「特に不自然な変化は認められない」と判定された測定点は144点中12 点であった。この12点についても、データに不自然な変化が認められないというだけで、 その絶対値が正しいという保証がある訳ではない。この12点の分布を図4-3で見てみると、 JR東海中央本線から離れた位置に分布する傾向があることが判る。しかし、エリアのかな り北でもDCノイズの混入や位相の変化の不自然さが認められる測定点が存在することから、 全測定点が「広域ノイズの影響」を何らかの形で受けていると考えるのが妥当であると思わ れる。



最後に,第3章で説明した比抵抗の解析結果の信頼性について考える。各測定点で得られた見掛比抵抗-周波数曲線は,図4-5に示した三つのパターンにおおむね分類できる。

図4-5 見掛比抵抗・周波数曲線のパターンと比抵抗構造の概念モデル

パターン1は低比抵抗層の下に高比抵抗層が存在するというモデルで説明できる。パター ン2は低比抵抗層の層厚が非常に小さいことから,見掛比抵抗曲線はいきなり増加を始め, さらに途中でその傾きが増加する。これは、高比抵抗層の下にさらに比抵抗の高い層が存在 するというモデルで説明可能ではあるが,傾きの増加が広域ノイズの影響によるものである 可能性もある。パターン3は比抵抗が高・低・高の三層構造モデルで説明できる。各測定点 の見掛比抵抗の変化と位相の変化の関係について調べたところ,見掛比抵抗が増加に転じる, あるいは傾きが増加する周波数と, 位相の不自然な変化が現れる周波数がおおむね一致して いる測定点が多数存在した。ここで,位相の不自然な変化が現れる周波数よりも高い周波数, すなわち低比抵抗体が存在することを示している周波数の見掛比抵抗および位相のデータ の信頼性は高いと仮定すると,解析結果に現れている堆積岩に相当すると考えられる低比抵 抗部の出現位置や出現深度については、その信頼性は高いということになる。図3-6に示し た二次元比抵抗解析結果に現れている低比抵抗部の水平方向の分布と,地質図に記載されて いる堆積岩の分布域はよく一致していることから、この仮定はほぼ正しいものと考えられ、 逆に言えば、図3-6に現れている低比抵抗部は堆積岩に相当しているという解釈は妥当であ ると考えられる。一方,この低比抵抗部の下に存在する高比抵抗部に関する情報を持つデー タ, すなわち位相の不自然な変化が現れる周波数よりも低い周波数のデータについては, そ の信頼性は非常に低いと考えられることから,低比抵抗部の深度方向の分布ならびにその下 に存在する高比抵抗部の比抵抗分布については,解析結果の信頼性も非常に低いと考えるの が妥当である。特に,花崗岩に相当すると考えられる数百Ωm以上の比抵抗は,DCノイズ が混入した見掛比抵抗を含むデータから得られたものであることから,そこに現れている比 抵抗のコントラストについては意味が無いと考えるのが妥当である。

今回の検討により、CSMT法やMT法を用いて地質構造調査を行う場合、特に直流で運行 されている鉄道沿線や市街地近郊においては、事前に調査対象エリアのノイズの状況を詳細 に把握しておき、そのノイズに対処可能な探査システムの選定や、測定仕様の決定を行うこ とが極めて重要であることが改めて認識された。具体的には、調査に先立ち、調査対象エリ ア内の数地点において電界および磁界の時系列データを少なくとも24時間取得し、当該エ リアのノイズの振幅や周波数およびその日変化を把握することにより、データ取得時のノイ ズの振幅や周波数に対応できる十分なダイナミックレンジを持った測定器の選択と、データ 取得に最適な時間帯の選択が可能になる。さらに、ノイズの振幅が大きく、時系列データか ら自然の電磁界信号を容易には分離できないと判断される場合は、リモートリファレンス法 あるいはファーリモートリファレンス法<sup>810</sup>を採用する必要がある。

本調査エリアでMT法を用いて地質構造調査を行うためには、正馬様用地で行ったMT法の適用試験結果<sup>4)</sup>から明らかになっているように、

- 1) ファーリモートリファレンス法を採用すること
- 2) JR東海中央本線の運行本数が減少する午前1時半過ぎから2時間程度の時間帯を選び、

1測定点について1週間程度の長期観測を実施すること

3) 探査に利用する自然の電磁界信号の強度が小さくなる冬季の測定を避けること

が必須である。

## 5. 結論

高周波数テンソル式CSMT法システムを用いたCSMT・MT法調査で取得されたデータに ついて、その品質の点検を行ったところ、ほぼすべての測定点のデータが「JR東海中央本 線および中部電力㈱の瑞浪変電所や送電線に起因すると考えられる振幅の大きな広域ノイ ズ」の影響を大きく受けており、比抵抗構造の解析結果には問題がある事が明らかになった。

このような結果を招いた最大の要因は,調査エリア内の電磁界ノイズの特徴を精査するこ となく,データ取得の簡便性の観点から高周波数テンソル式CSMT法システムを採用したこ とにある。すなわち,CSMT法やMT法を用いて地質構造調査を行う場合,特に直流で運行 されている鉄道沿線や市街地近郊においては,事前に調査対象エリアのノイズの状況を詳細 に把握しておき,そのノイズに対処可能な探査システムの選定や,測定仕様の決定を行うこ とが極めて重要である。具体的には,調査に先立ち,調査対象エリア内の数地点において電 界および磁界の時系列データを少なくとも24時間取得し,当該エリアのノイズの振幅や周 波数およびその日変化を把握することにより,データ取得時のノイズの振幅や周波数に対応 できる十分なダイナミックレンジを持った測定器の選択と,データ取得に最適な時間帯の選 択が可能になる。さらに,ノイズの振幅が大きく,時系列データから自然の電磁界信号を容 易には分離できないと判断される場合は,リモートリファレンス法あるいはファーリモート リファレンス法を採用することになる。例えば,本調査エリアでMT法を用いて地質構造調 査を行うためには,以下の仕様を満たす調査を実施する必要がある。

- 1) ファーリモートリファレンス法を採用すること
- 2) JR東海中央本線の運行本数が減少する午前1時半過ぎから2時間程度の時間帯を選び、 1測定点について1週間程度の長期観測を実施すること
- 3) 探査に利用する自然の電磁界信号の強度が小さくなる冬季の測定を避けること

なお,本調査で取得されたデータが広域地下水流動研究の研究実施領域の基盤不整合面標 高の推定に用いられたことがある<sup>11)</sup>が,広域地下水流動研究および超深地層研究所計画<sup>12)</sup> における地質構造モデルの構築には,既存試錐孔(ウラン資源調査の目的で実施されたもの を含む)で取得されたデータが用いられていることから,今回の結果を受けて,これら二つ の研究の地質構造モデルの信頼性に直ちに問題が発生することはない。ただし,文献11)で は花崗岩分布域における地質構造調査法としてのCSMT・MT法の有効性が謳われており, この点については前述した仕様に則った調査を再度実施した上で,再評価する必要がある。

## 参考文献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団東濃地科学センター:広域地下水流動研究基本計画書, PNC TN7020 98-001, 9p. (1997).
- 2) 篠原信男:電磁法による地上物理探査, JNC TJ7420 99-007, 72p. (1999).
- 3) 大里和己,山根一修:電磁法データの2次元比抵抗構造解析,JNC TJ7440 2000-005, 46p. (2000).
- 4) 篠原信男:電磁探查(MT法)適用試験, JNC TJ7420 99-009, 62p. (1999).
- 5) 糸魚川淳二:瑞浪地域の地質,瑞浪市化石博物館専報,第1号, pp.1-50 (1980).
- 6) 動力炉・核燃料開発事業団:日本のウラン資源(II), PNC TN7420 88-006, p.32 (1988).
- 7) 物理探査学会:物理探査ハンドブック, pp.316-317 (1998).
- 8) 高倉伸一,武田裕啓,松尾公一: MT 法における広域ノイズの影響とファーリモートリファレンス法によるその除去,物理探査, vol.47, no.1, pp.24-35 (1994).
- 9) 物理探查学会(編):新版物理探查用語辞典, pp.220-221 (2005).
- 10) 物理探查学会(編):新版物理探查用語辞典, p.240 (2005).
- 11) 核燃料サイクル開発機構:高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発-平 成13年度報告-,JNC TN1400 2002-003, pp.3-4 - 3-5 (2002).
- 12) 日本原子力研究開発機構:超深地層研究所地層科学研究基本計画, JAEA-Review 2010-016, 37p. (2010).
付 録

測定点 006 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 付近のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$  には不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$  には小さいながら値のギャップが散見されるが、それほど不自然な変化をしている訳ではない。 $\rho_{ayx}$ には不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ には 700Hz および 100Hz 少し手前に大きな値のギャップが存在し、100Hz 少し手前からは-180°を下回る異常値が続く。







測定点 007 の所見:





付図-2 測定点 007 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 008 の所見:





付図-3 測定点 008 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 009 の所見:

・ *ρ*a の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-? yx-①②



付図-4 測定点 009 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 010 の所見:

 $\rho_{axy}$ は 300Hz 付近で不自然に折れ曲がり,それ以降は 45°の傾きで増加していくように 見えるが,40Hz 以下の連続性が良くないので,それ以降の傾きを判定できない。 $\varphi_{xy}$ には 400Hz 付近に値のギャップが存在し,それ以降はやや不自然に増減した後,20Hz 少し手前 から急激に減少する。 $\rho_{ayx}$ は 1kHz 付近で不自然に折れ曲がるが連続性が良くないので,そ れ以降の傾きを判定できない。 $\varphi_{yx}$ は 400Hz 付近で不自然に折れ曲がった後急激に減少し, -180°を大きく下回る異常値へと続く。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-④ yx-①③④





測定点 011 の所見:

・*ρ*<sub>a</sub>の連続性:悪い ・DC ノイズ:有り ・位相の変化:xy-①② yx-①②



付図-6 測定点 011 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 012 の所見:

ρ<sub>axy</sub>, φ<sub>xy</sub>および ρ<sub>ayx</sub>は 200Hz 以下の連続性が非常に悪く, φ<sub>xy</sub>には 90°を大きく上回る 異常値や 0°を大きく下回る異常値が多数存在する。φ<sub>yx</sub>の連続性は他に比べれば悪くはない が, 2kHz 付近で不自然に折れ曲がった後急激に減少し, 100Hz~40Hz 間には-180°を大き く下回る異常値が多数存在する。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性:悪い ・ DC ノイズ:- ・ 位相の変化: xy-①② yx-①②③<sup>h</sup>



付図-7 測定点 012 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 013 の所見:

・ $\rho_a$ の連続性:悪い ・DCノイズ:? ・位相の変化:xy-①②④<sup>h</sup> yx-①②



付図-8 測定点 013 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 014 の所見:



付図-9 測定点 014 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 015 の所見:

4kHz 付近に4種のデータすべてに値のギャップが認められる。この点を境に $\rho_{axy}$ ,  $\rho_{ayx}$  とも 45°以上の傾きで増加していき,  $\varphi_{yx}$  は-180°近くの値が続く。1kHz 以下では4種のデ ータすべての連続性が非常に悪く,特に $\varphi_{xy}$ には0°を大きく下回る異常値が多数存在する。 ・ $\rho_a$ の連続性:悪い ・DC ノイズ:有り ・位相の変化:xy-①②<sup>h</sup> yx-①②<sup>h</sup>⑤<sup>h</sup>





測定点 018 の所見:



付図-11 測定点 018 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 019 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 未満のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ は 1kHz 以下で連続性があまり良くないが、特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ には数か所に大きな値のギャップが存在し、90°を上回る、あるいは 0°を下回る異常値が存在する。 $\rho_{ayx}$ も 1kHz 以下で連続性があまり良くないが、特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ には 1kHz~100Hz 間に-180°を下回る異常値が多数存在する。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: -

・DC ノイズ:- ・位相の変化:xy-①②<sup>h</sup> yx-①





測定点 020 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 未満のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ は 400Hz 付近で不自然に折れ曲がり増加の度合いが増すが、その傾きは 45°よりも小さい。 $\varphi_{xy}$ は 5kHz 付近に値のギャップが存在し、それ以降 0 に近い値が続いた後、80Hz~50Hz 間では 0°を大きく下回る異常値を取る。 $\rho_{ayx}$ は 200Hz 付近で不自然に折れ曲がり増加の度合いが増すが、その傾きは 45°よりも小さい。 $\varphi_{yx}$ は 3kHz 付近で不自然に折れ曲れかり増加の度合いが増すが、その傾きは 45°よりも小さい。

・ $\rho_a$ の連続性: - ・DC ノイズ: - ・位相の変化: xy-① $5^h$  yx- $0^h$ 3h4h





測定点 021 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 未満のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ は 200Hz 付近を境にほぼ 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{xy}$ には 5kHz 付近と 1kHz 付近に値のギャップが存在し、5kHz~1kHz 間では 0°近くの値を取るが、これは  $\rho_{axy}$ の変化と整合していない。 $\rho_{ayx}$ は 300Hz 付近を境にほぼ 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{yx}$ は 1kHz 手前に大きな値のギャップが存在し、1kHz~100Hz 間で-180°前後の値を取るが、100Hz 以下ではそれほど不自然な変化をしている訳ではない。

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:? ・位相の変化:xy-②⑤<sup>h</sup> yx-②<sup>h</sup>⑤



付図-14 測定点 021 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 024 の所見:

 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められないが、50Hz 以下の連続性があまり良くない。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz 付近から増加を始め 400Hz 付近で 90°を超える異常値を取った後急激に減少し、100Hz 付近で 0°に近い値を取るが、それ以降はふたたび増加傾向を示す。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ は 200Hz 付近に大きな値のギャップが存在し、それ以降には-180°を下回る異常値が多数存在する。



付図-15 測定点 024 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 025 の所見:

 ・ρ<sub>a</sub>の連続性:



・位相の変化:xy-④ yx-①④



付図-16 測定点 025 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 026 の所見:

 $\rho_{axy}$ は 300Hz~50Hz 間での連続性があまり良くないが,特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ は連続性があまり良くなく不自然に増減する他,400Hz,40Hz 付近に非常に大きな値のギャップが存在する。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ は 1kHz を少し過ぎた辺りで不自然に折れ曲がった後急激に減少する他,300Hz および 200Hz 付近に非常に大きな値のギャップが存在し,それ以降は-180°前後の値が続く。





付図-17 測定点 026 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 027 の所見:



付図-18 測定点 027 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 028 の所見:





付図-19 測定点 028 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 029 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性:悪い ・ DC ノイズ:有り ・ 位相の変化: xy-① 2<sup>h</sup> yx-① 2 3<sup>h</sup>



付図-20 測定点 029 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 030 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: -

・DC ノイズ:有り ・位相の変化:xy-⑤<sup>h</sup> yx-③h④h⑤<sup>h</sup>





測定点 033 の所見:

4種のデータすべての連続性が非常に悪く、位相のデータには異常値が多々含まれる。 40Hz 付近を境に  $\rho_{axy}$ ,  $\rho_{ayx}$  とも 45°の傾きで増加していき、 $\varphi_{xy}$ は 0°近くの値を取る。 ・ $\rho_a$ の連続性:悪い ・DC ノイズ: 有り ・位相の変化: xy-①h②h yx-①h②h



付図-22 測定点 033 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 034 の所見:

4種のデータすべての連続性が非常に悪く、位相のデータには異常値が多々含まれる。 40Hz 付近を境に  $\rho_{axy}$ 、 $\rho_{ayx}$  とも 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{yx}$ は 50Hz 以下で-180°近くの値が続く。

・ρ<sub>a</sub>の連続性:悪い ・DC ノイズ:有り ・位相の変化:xy-①h②h yx-①h②h



付図-23 測定点 034 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 035 の所見:

 $\rho_{axy}$ は 200Hz 付近を境に 45°以上の傾きで増加していく。 $\varphi_{xy}$ は 600Hz 以下では 0°前後の値が続く。 $\rho_{ayx}$ の増加の傾きは 45°より小さいが、 $\varphi_{yx}$ は 700Hz~20Hz 間では-180°前後の値が続く。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-⑤





測定点 036 の所見:

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-② yx-③④⑤



付図-25 測定点 036 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 038 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:有り ・位相の変化:xy-⑤ yx-④⑤



付図-26 測定点 038 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 039 の所見:





測定点 040 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:有り ・位相の変化:xy-⑤ yx-②h⑤h



付図-28 測定点 040 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 041 の所見:

4種のデータすべての連続性が非常に悪く、位相のデータには異常値が多々存在する。 ・ ρ<sub>a</sub>の連続性:悪い ・ DC ノイズ:- ・ 位相の変化:xy-①h②h yx-①h②h



付図-29 測定点 041 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 042 の所見:



付図-30 測定点 042 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 043 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 未満のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ は 1kHz 付近で不自然に折れ曲がり、それ以降は45°以上の傾きで増加していく。  $\varphi_{xy}$ は 1kHz 付近に大きな値のギャップが存在し、それ以降は50Hz 付近まで0°前後の値が続く。 $\rho_{ayx}$ も 1kHz 付近で不自然に折れ曲がり、それ以降は45°以上の傾きで増加していく。  $\varphi_{yx}$ は 3kHz 付近で不自然に折れ曲がった後急激に減少し、-180°に近い値が続いた後、200Hz 以下の-180°を大きく下回る異常値へとつながっていく。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-25 yx-13<sup>h</sup>4<sup>h</sup>



付図-31 測定点 043 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 044 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-①②<sup>h</sup>



付図-32 測定点 044 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 045 の所見:

 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ にも特に不自然な変化は認められない。  $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ は 2kHz 付近に大きな値のギャップが存在 し、それ以降急激に減少した後、1kHz 以下では-180°に近い値が続く。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: yx-2<sup>h</sup>4<sup>h</sup>5



付図-33 測定点 045 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(○:xy, ×:yx)

測定点 046 の所見:

4種のデータすべてについて,特に不自然な変化は認められない。 ・ ρ<sub>a</sub>の連続性:-・ **D**Cノイズ:-・ 位相の変化:-





測定点 047 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: ・ DC ノイズ: 有り
・ 位相の変化: xy-5
yx-5



付図-35 測定点 047 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)
測定点 048 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 付近のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ は 100Hz~40Hz 間の連続性が悪いが、これを除けばそれほど不自然な変化をしている訳ではない。 $\varphi_{xy}$ には値のギャップが多々存在する他、0°を下回る異常値も存在する。  $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ は 1kHz 付近に値のギャップが存在し、600Hz 以下では-180°前後の値が続く。

・DCノイズ:-

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: -

・位相の変化:xy-①② yx-⑤





測定点 049 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: -

DC ノイズ: ・位相の変化: xy-①② yx-①②④





測定点 050 の所見:

ρ<sub>axy</sub>は 300Hz 以下では 45°以上の傾きで増加していく。φ<sub>xy</sub>は 1kHz 付近に大きな値のギ ャップが存在し、400Hz 以下では 0°前後の値が続く。ρ<sub>ayx</sub> も 300Hz 以下では 45°以上の傾 きで増加していく。φ<sub>yx</sub>は 1kHz 付近および 600Hz 付近に大きな値のギャップが存在し、 600Hz 以下では-180°近くの値が続く。

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:有り ・位相の変化:xy-②⑤ yx-②⑤





測定点 051 の所見:





測定点 052 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-④ ⑤



付図-40 測定点 052 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 053 の所見:

ρ<sub>axy</sub>は 1kHz 以下では 45°の傾きで増加していき, φ<sub>xy</sub>も 500Hz~30Hz 間では 0°前後の 値が続く。ρ<sub>ayx</sub>の増加の傾きは当初は 45°より小さいが, 30Hz 以下では 45°の傾きで増加 していく。φ<sub>yx</sub>は 800Hz 前後の 3 つの値のギャップを介して急激に減少し, 600Hz~100Hz 間では-180°近くの値が続くが, 100Hz 以下では若干の増加傾向を示す。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-④ ⑤





- 74 -

測定点 054 の所見:



・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: yx-③④⑤

付図-42 測定点 054 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

- 75 -

測定点 055 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-③h⑤





測定点 056 の所見:





測定点 057 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: -

・DC ノイズ: 有り ・位相の変化: xy-⑤ yx-③<sup>h</sup>





測定点 058 の所見:

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-⑤



付図-46 測定点 058 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 059 の所見:



・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤<sup>h</sup> yx-⑤

付図-47 測定点 059 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

- 80 -

測定点 061 の所見:

4種のデータすべての連続性が非常に悪く、位相のデータには異常値が多々含まれる。 ・ρ<sub>a</sub>の連続性:悪い・DCノイズ:-・位相の変化:xy-①②h④ yx-②h④



付図-48 測定点 061 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 063 の所見:

異常値が存在したためか、多数のデータが削除されている。残されたデータについては、  $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz 以下で一旦 45°以下の値を取るが、 その後再び 45°以上の値を取り、 $\rho_{axy}$ の変化と整合していない。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化 は認められない。 $\varphi_{yx}$ は 1kHz 少し手前でやや不自然に折れ曲がった後急激に減少し、その まま-180°を下回る異常値へと続く。

・*ρ*aの連続性:- ・DCノイズ:- ・位相の変化:xy-② yx-①③h④



付図-49 測定点 063 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 064 の所見:

異常値が存在したためか、多数のデータが削除されている。残されたデータについては、  $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz 以下で一旦 45°以下の値を取るが、 その後再び 45°以上の値を取り、 $\rho_{axy}$ の変化と整合していない。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化 は認められない。 $\varphi_{yx}$ は 1kHz 少し手前でやや不自然に折れ曲がった後急激に減少し、その まま-180°を下回る異常値へと続く。





付図-50 測定点 064 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 065 の所見:

 $\rho_{axy}$ は 200Hz~100Hz 間で連続性があまり良くなく,100Hz 付近で傾きが 45°以上の別 の曲線にシフトしているように見える。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz 以下に値のギャップが散見され,300Hz 以下では 0°に近い値が続く。 $\rho_{ayx}$ は 200Hz~100Hz 間で連続性があまり良くなく,100Hz 付近で傾きが 45°以上の別の曲線にシフトしているように見える。 $\varphi_{yx}$ は 2kHz~600Hz 間 で直線的に減少した後,ほぼ一定の値を取り,200Hz 以下では-180°前後の値が続く。



・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:有り ・位相の変化:xy-⑤ yx-④⑤

付図-51 測定点 065 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

- 84 -

測定点 066 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-①⑤ yx-①③h④





測定点 067 の所見:





測定点 068 の所見:

データ処理上のミスのためか, xy と yx の値が入れ替わって記録されている。 $\rho_{axy}$ ,  $\rho_{ayx}$  および  $\varphi_{yx}$ の連続性が非常に悪い。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性:悪い ・ DC ノイズ:- ・ 位相の変化: xy-①h② yx-①h②h





測定点 069 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 未満のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ および  $\varphi_{xy}$ の連続性が非常に悪いが、 $\rho_{axy}$ は 100Hz 以下では 45°以上の傾きで増加していく。 $\rho_{ayx}$ は 200Hz~100Hz 間の連続性が良くないが、100Hz 付近で不自然に折れ曲がり、それ以降は 45°以上の傾きで増加していく。 $\varphi_{yx}$ も連続性はさほど良くなく、値のギャップが散見されるが、700Hz 以下では一部のデータを除けば-180°近くの値が続く。 ・ $\rho_a$ の連続性: - ・DC ノイズ: 有り ・位相の変化: xy-①<sup>h</sup>②<sup>h</sup> yx-①②



付図-55 測定点 069 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 070 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-① 5<sup>h</sup> yx-5<sup>h</sup>



付図-56 測定点 070 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 072 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DC ノイズ:- ・位相の変化:xy-①②<sup>h</sup> yx-①



付図-57 測定点 072 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 073 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: -

・DC ノイズ:有り ・位相の変化:xy-③h⑤ yx-⑤h





測定点 074 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DC ノイズ:- ・位相の変化:xy-③h④ yx-④h⑤h





測定点 075 の所見:







測定点 076 の所見:

・ $\rho_a$ の連続性:悪い ・DC ノイズ:- ・位相の変化:xy-①②h④h yx-②④h



付図-61 測定点 076 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 077 の所見:

 $\rho_{axy}$ は 30kHz 付近を境に増加に転じ、それ以降は直線的に増加し続けるが、その傾きは 45°よりも小さい。 $\varphi_{xy}$ は 3kHz および 2kHz 付近に小さいが値のギャップが存在し、これ らを介して 0°近くまで減少するが、それ以降 1kHz にかけて急激に増加し、一旦 45°以上 の値を取る。さらに、1kHz とその下の周波数の間には 40°近くの値のギャップが存在し、それ以降は不自然な増減を繰り返す。 $\rho_{ayx}$ は 30kHz 付近を境に値が増加に転じ、それ以降 は直線的に増加し続けるが、その傾きは 45°以下よりも小さい。 $\varphi_{yx}$ は 1kHz 付近に大きな 値のギャップが存在し、それ以降は不自然な増減を繰り返す。





付図-62 測定点 077 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 078 の所見:

 $\rho_{axy}$ は 20kHz 付近を境に増加に転じ,100Hz 以下では傾きが 45°に達する。 $\varphi_{xy}$ は 2kHz 以下では 0°に近い値が続く。 $\rho_{ayx}$ は 20kHz 付近を境に増加に転じ,300Hz~100Hz 間で傾 きが 45°に達した後,100Hz 以下では傾きが 45°の別の直線にシフトしているように見える。  $\varphi_{yx}$ は 1kHz 付近で急激に減少した後,800Hz~200Hz 間では-180°前後の値が続く。 ・ $\rho_{a}$ の連続性: - ・DC ノイズ: 有り ・位相の変化:xy-⑤<sup>h</sup> yx-④





測定点 080 の所見:

4種のデータすべての連続性が非常に悪く、位相のデータには異常値が多々含まれる。 ・ ρ<sub>a</sub>の連続性:悪い ・ DC ノイズ:- ・ 位相の変化:xy-①h②h yx-①h②h



付図-64 測定点 080 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 085 の所見:

4種のデータすべての連続性が非常に悪く、位相のデータには異常値が多々含まれる。 •  $\rho_a$ の連続性:悪い • DC ノイズ: - • 位相の変化: xy-①②④ yx-①②



付図-65 測定点 085 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 086 の所見:

 $\rho_{axy}$ は 30kHz 付近を境に増加に転じ、400Hz 以下では傾きが 45°に達する。 $\varphi_{xy}$ は 2kHz 以下のほぼすべての値が異常値である。 $\rho_{ayx}$ は 30kHz 付近を境に値が増加に転じ、400Hz 以下では傾きが 45°に達する。 $\varphi_{yx}$ は 1kHz~40Hz 間では-180°前後の値が続く。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-①<sup>h</sup> yx-⑤





測定点 087 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-①② yx-③h④h⑤





測定点 088 の所見:



付図-68 測定点 088 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 089 の所見:

 $\rho_{axy}$ は 150Hz 付近でやや不自然に折れ曲がり,それ以降は 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz を過ぎたあたりでやや急激に減少し,200Hz 以下の 0°を下回る異常値へと続く。  $\rho_{ayx}$ は 150Hz 付近でやや不自然に折れ曲がり,それ以降は 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{yx}$ は 500Hz 付近で急激に減少し,-180°を下回る異常値へと続く。

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:? ・位相の変化:xy-① yx-①③④



付図-69 測定点 089 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 090 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:

・DC ノイズ:有り ・位相の変化:xy-①④ yx-⑤



付図-70 測定点 090 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 091 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-⑤



付図-71 測定点 091 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)
測定点 092 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-②⑤ yx-⑤





測定点 093 の所見:

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: xy-④⑤ yx-④⑤



付図-73 測定点 093 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 094 の所見:



・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-①5 yx- ①5

付図-74 測定点 094 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

frequency (Hz)

測定点 095 の所見:

ρ<sub>axy</sub>は 60Hz 付近で不自然に折れ曲がり,それ以降は 45°以上の傾きで増加していく。φ<sub>xy</sub> は 100Hz 付近で急激に減少し,0°を大きく下回る異常値へと続く。ρ<sub>ayx</sub>は 60Hz 付近で不 自然に折れ曲がり,それ以降は 45°以上の傾きで増加していく。φ<sub>yx</sub>は 300Hz 付近で不自然 に折れ曲がった後急激に減少するが,それ以降-180°近くの値が連続する訳ではない。







- 108 -

測定点 098 の所見:

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-⑤





測定点 100 の所見:

ρ<sub>axy</sub>は 100Hz~30Hz 間でその傾きがほぼ 45°に達した後,20Hz 付近で別の傾きを持つ 直線にシフトしているように見える。φ<sub>xy</sub>は 600Hz~40Hz 間では 0°に近い値が続く。ρ<sub>ayx</sub> は 100Hz~30Hz 間でその傾きがほぼ 45°に達した後,20Hz 付近で別の傾きを持つ直線に シフトしているように見える。φ<sub>yx</sub>は 600Hz 以下では-180°前後の値が続く。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-⑤



付図-77 測定点 100 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 101 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:- ・位相の変化:xy-2<sup>h</sup>5 yx-3<sup>h</sup>4<sup>h</sup>5<sup>h</sup>





測定点 102 の所見:



付図-79 測定点 102 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 103 の所見:





付図-80 測定点 103 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 104 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 未満のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ は 300Hz~200Hz 間で急激に減少して 0°に近づき、50Hz 付近の小さな値のギャップを経て、それ以降は 0°近くの値が続く。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ は 1kHz を少し過ぎた辺りで不自然に折れ曲がった後、700Hz~200Hz 間で直線的に減少した後、200Hz 以下では-180°前後の値が続く。 $\cdot \rho_a$ の連続性: - ・DC ノイズ: - ・位相の変化: xy-④⑤ yx-③⑤



付図-81 測定点 104 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 105 の所見:

 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められないが,値が増加し続ける。 $\varphi_{xy}$ は 300Hz 以下では  $0^{\circ}$ 近くの値が続く。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められないが,値が増加し続ける。 $\varphi_{yx}$ は 700Hz  $\sim$  200Hz 間で急激に減少し、300Hz 以下では-180°前後の値が続く。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-④⑤





測定点 106 の所見:

 ・ρ<sub>a</sub>の連続性:

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・</lit

•DC ノイズ: 有り ・位相の変化: xy-⑤



付図-83 測定点 106 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 108 の所見:

 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ は 500Hz 付近で不自然に折れ曲がった後 やや急激に減少するが、それ以降 0°に近い値が続く訳ではない。 $\rho_{ayx}$ は 30Hz 以下で連続 性が多少悪くなるが、特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ は 200Hz 付近でやや不自然に 折れ曲がった後急激に減少するが、それ以降-180°に近い値が続く訳ではない。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: xy-3④ yx-3④





測定点 109 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: ・ DC ノイズ: ・ 位相の変化: -





測定点 110 の所見:

 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ には 2kHz と 1kHz 付近に値のギャップ が存在し、1kHz 以下では  $0^{\circ}$ 近くの値が続く。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められない。  $\varphi_{yx}$ は 400Hz 以下では-180<sup>o</sup>近くの値が続く。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: ・ DC ノイズ: ・ 位相の変化: xy-2<sup>h</sup>5 yx-5





測定点 111 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 付近のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ は 100Hz 付近でやや急激に減少し、それ以降は 0°近くの値が続く。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ はほぼ単調に減少し、100Hz 以下では-180°前後の値が続く。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-⑤



付図-87 測定点 111 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 112 の所見:



付図-88 測定点 112 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 113 の所見:

 $\rho_{axy}$ は 100Hz 付近で増加に転じ、それ以降は 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{xy}$ は 100Hz 以下では 0°近くの値が続く。 $\rho_{ayx}$ は 100Hz 付近で増加に転じるが、その傾きは 45°よりも 若干小さい。 $\varphi_{yx}$ は 300Hz~200Hz 間で急激に減少した後、200Hz 以下では-180°前後の値 が続く。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-④ ⑤



付図-89 測定点 113 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 114 の所見:

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-⑤



付図-90 測定点 114 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 115 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:有り ・位相の変化:xy-⑤<sup>h</sup> yx-①⑤<sup>h</sup>



付図-91 測定点 115 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 116 の所見:

 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ には値のギャップが散見され、100Hz~ 50Hz 間では 0<sup>o</sup>に近い値が続くが、それほど不自然な変化をしている訳ではない。 $\rho_{ayx}$ には 特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ にも特に不自然な変化は認められない。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: -



付図-92 測定点 116 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 117 の所見:

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-①③ yx-⑤





測定点 118 の所見:

ρ<sub>axy</sub>は 100Hz 以下では 45°以上の傾きで増加していく。φ<sub>xy</sub>は 100Hz 以下では 0°近くの 値が続く。ρ<sub>ayx</sub>は 100Hz 以下では 45°以上の傾きで増加していく。φ<sub>yx</sub>は 200Hz 付近で急 激に減少し、それ以降は-180°前後の値が続く。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-④ ⑤





測定点 119 の所見:

異常値が存在したためか,一部のデータが削除されている。残されたデータについては,  $\rho_{axy}$ は 2kHz 付近で増加に転じるが,それ以降の傾きは 45°よりも小さい。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz 付 近に値のギャップが存在し,それ以降は 0°近くの値が続く。 $\rho_{ayx}$ は 2kHz 付近で増加に転 じるが,それ以降の傾きは 45°よりも小さい。 $\varphi_{yx}$ は 2kHz 付近で不自然に折れ曲がった後 急激に減少し,800Hz 以下では-180°前後の値が続く。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-③h④h⑤



付図-95 測定点 119 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 121 の所見:

4種のデータすべての連続性が非常に悪い。

・ $\rho_a$ の連続性:悪い ・DC ノイズ:- ・位相の変化:xy-①h②h③h yx-①②h





測定点 122 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: ・ DC ノイズ: 有り
 ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-⑤



付図-97 測定点 122 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 123 の所見:

 ・ρ<sub>a</sub>の連続性:

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・</lit

DC ノイズ:?
 ・位相の変化:xy-? yx-?





測定点 125 の所見:

 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ は 200Hz 以下では 0°に近い値が続く。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ は 200Hz 以下では-180°前後の値が続く。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性 : - ・ DC ノイズ : - ・ 位相の変化 : xy-⑤ yx-⑤





測定点 129 の所見:

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-⑤





測定点 130 の所見:

ρ<sub>axy</sub>は 100Hz 付近で不自然に折れ曲がり, それ以降は 45°以上の傾きで増加していく。φ<sub>xy</sub> は 700Hz 付近で急激に減少し、500Hz 以下では 0°に近い値が続く。ρ<sub>ayx</sub>は 100Hz 付近で 不自然に折れ曲がり, それ以降は 45°以上の傾きで増加していく。φ<sub>yx</sub>は 700Hz 付近で急激 に減少し、500Hz 以下では-180°前後の値が続く。

・ρ<sub>a</sub>の連続性:-・DCノイズ:有り・位相の変化:xy-④⑤ yx-④⑤





- 134 -

測定点 131 の所見:

p<sub>axy</sub>は 2kHz 付近で増加に転じ,100Hz 以下の傾きはほぼ 45°である。φ<sub>xy</sub>は 2kHz 以下 では 0°近くの値が続く。p<sub>ayx</sub>は 2kHz 付近で増加に転じ,100Hz 以下の傾きは 45°に近い 値を取る。φ<sub>yx</sub>は 2kHz~800Hz 間では-180°近くの値が続き,100Hz 以下では-180°前後の 値が続く。

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:有り ・位相の変化:xy-④<sup>h</sup>⑤<sup>h</sup> yx-④<sup>h</sup>⑤<sup>h</sup>





測定点 132 の所見:

 ・ρ<sub>a</sub>の連続性:

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・

 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・
 ・





測定点 133 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:有り ・位相の変化:xy-④5 yx-④5





測定点 135 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:- ・位相の変化:xy-⑤<sup>h</sup> yx-⑤<sup>h</sup>





測定点 136 の所見:

異常値が存在したためか,大多数のデータが削除されている。残されたデータについては, 4種のデータすべての連続性が非常に悪く, φ<sub>xy</sub>, φ<sub>yx</sub>には異常値が多数存在する。

・ $\rho_a$ の連続性:悪い ・DC ノイズ:- ・位相の変化:xy-①h④h yx-①h④h





測定点 137 の所見:

 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ は 500Hz 付近で不自然に折れ曲がった後 急激に減少し、それ以降やや不自然に増減する。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められない。  $\varphi_{yx}$ は 1kHz および 500Hz 付近に値のギャップが存在するが、それほど不自然な変化をして いる訳ではない。

・ρ<sub>a</sub>の連続性: ・DC ノイズ: ・位相の変化: xy-③④




測定点 138 の所見:



付図-108 測定点 138 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 139 の所見:



付図-109 測定点 139 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 140 の所見:

・ *ρ*a の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: -





測定点 141 の所見:

異常値が存在したためか, 30Hz 付近のデータが削除されている。残されたデータについては,  $\rho_{axy}$ は 100Hz 付近の連続性が良くないが, それほど不自然な変化をしている訳ではない。 $\varphi_{xy}$ には値のギャップが散見されるが,総じて変化に乏しい。 $\rho_{ayx}$ は 1kHz 以下では $45^{\circ}$ に近い傾きで増加し, 200Hz 付近で傾きが  $45^{\circ}$ に近い別の直線にシフトしているように見える。 $\varphi_{yx}$ は 1kHz~100Hz 間で- $180^{\circ}$ 近くの値を取る。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-? yx-⑤





測定点 142 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・ DC ノイズ:有り ・ 位相の変化: xy-④<sup>h</sup>⑤<sup>h</sup> yx-③





測定点 143 の所見:

 $\rho_{axy}$ ,  $\rho_{ayx}$  とも特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ ,  $\varphi_{yx}$ には値のギャップが散見されるが、それほど不自然な変化をしている訳ではない。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: -





測定点 144 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性:悪い
・ DC ノイズ: ・ 位相の変化: xy-①②
yx-①②



付図-114 測定点 144 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 146 の所見:

 $\rho_{axy}$ ,  $\rho_{ayx}$  とも特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ ,  $\varphi_{yx}$ には値のギャップが散見されるが、それほど不自然な変化をしている訳ではない。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: -



付図-115 測定点 146 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 148 の所見:

 $\rho_{axy}$ ,  $\rho_{ayx}$  とも特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ ,  $\varphi_{yx}$ には値のギャップが散見されるが、それほど不自然な変化をしている訳ではない。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: -





測定点 149 の所見:

異常値が存在したためか、30Hz付近のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ は連続性があまり良くないが、それほど不自然な変化をしている訳ではない。 $\varphi_{xy}$ は連続性が非常に悪い。 $\rho_{ayx}$ は連続性があまり良くないが、それほど不自然な変化をしている訳ではない。 $\varphi_{yx}$ の連続性は他のデータに比べると比較的良く、特に不自然な変化は認められない。

・ρ<sub>a</sub>の連続性:-

DC ノイズ: ・位相の変化: xy-②



付図-117 測定点 149 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 150 の所見:

4種のデータすべてについて特に不自然な変化は認められない。ただし, φ<sub>yx</sub>は変化が非 常に乏しい。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: -





測定点 151 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 未満のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ 、 $\varphi_{xy}$ とも連続性があまり良くなく、 $\varphi_{xy}$ には 150Hz 付近に大きな値のギャップが存在するが、これを除けばそれほど不自然な変化をしている訳ではない。 $\rho_{ayx}$ 、 $\varphi_{yx}$ には特に不自然な変化は認められない。







測定点 152 の所見:

異常値が存在したためか、20Hz 未満のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ は 100Hz 付近で不自然に折れ曲がり、それ以降は 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz 以下では 0°近くの値が続く。 $\rho_{ayx}$ は 40Hz 付近で不自然に折れ曲がり、それ以降は 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{yx}$ は 80Hz 付近に値のギャップが存在し、それ以降は-180°に近い値が続く。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: -

・DC ノイズ: 有り ・位相の変化: xy-⑤ yx-⑤





測定点 153 の所見:

異常値が存在したためか、30Hz未満のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ は 100Hz付近で不自然に折れ曲がり、それ以降は  $45^{\circ}$ 以上の傾きで増加していく。 $\varphi_{xy}$ は 2kHz付近で不自然に折れ曲がった後急激に減少し、1kHz以下での連続性は良くないが、大部分が  $0^{\circ}$ 近くの値を取る。 $\rho_{ayx}$ は 100Hz付近で不自然に折れ曲がり、それ以降は  $45^{\circ}$ 以上の傾きで増加していく。 $\varphi_{yx}$ は  $8kHz \sim 2kHz$ 間で  $90^{\circ}$ に近い値を取った後急激に減少し、1kHz以下では  $180^{\circ}$ 前後の値が続く。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・ DC ノイズ:有り ・ 位相の変化: xy-③h④h⑤h yx-③h④h⑤



付図-121 測定点 153 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 154 の所見:

 $\rho_{axy}$ は 300Hz 以下では 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz 少し手前で不自然に折れ 曲がった後急激に減少し、それ以降は 0°近くの値が続く。 $\rho_{ayx}$ の増加の傾きは 45°より小さ いが、値が増加し続ける。 $\varphi_{yx}$ には特に不自然な変化は認められない。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-③<sup>h</sup>⑤





測定点 155 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: xy-? yx-④h⑤h





測定点 156 の所見:

 $\rho_{axy}$ ,  $\rho_{ayx}$  とも特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ ,  $\varphi_{yx}$  には値のギャップが散見されるが、それほど不自然な変化をしている訳ではない。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: -





測定点 157 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:有り ・位相の変化:xy-③h④h⑤ yx-⑤





測定点 158 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: yx-④⑤





測定点 163 の所見:





測定点 164 の所見:

 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められないが、値が増加し続ける。 $\varphi_{xy}$ は連続性があまり 良くなく、値のギャップが散見され、90Hz および 50Hz 付近に大きな値のギャップが存在 する。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められないが、値が増加し続ける。 $\varphi_{yx}$ は連続性があ まり良くなく、値のギャップが散見される。

・ρ<sub>a</sub>の連続性: ・DCノイズ: ・位相の変化:xy-②





測定点 165 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-③<sup>h</sup> yx-⑤





測定点 166 の所見:

異常値が存在したためか、30Hz 付近のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ は 2kHz $\sim$ 1kHz 間で不自然に増減する他、1kHz 付近に値のギャップが存在し、それ以降急激に減少して300Hz 以下では $0^{\circ}$ に近い値が続く。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{yx}$ は600Hz $\sim$ 400Hz 間の連続性が良くないが、これを除けば、それほど不自然な変化をしている訳ではない。



DC ノイズ: ・位相の変化: xy-③h④⑤





測定点 168 の所見:

 $\rho_{axy}$ は連続性が非常に悪い。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz 以下の連続性が非常に悪く,異常値も存在する。  $\rho_{ayx}$ は連続性が非常に悪い。 $\varphi_{yx}$ の連続性はそれほど悪くはないが,値のギャップが散見され、2点の異常値が存在する。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性:悪い ・ DC ノイズ:- ・ 位相の変化: xy-①② yx-①②





- 164 -

測定点 169 の所見:

データ処理上のミスのためか, xy と yx の値が入れ替わって記録されている。4種のデー タすべてについて 1kHz 以下の連続性が非常に悪い。

・ *ρ*<sub>a</sub>の連続性:悪い ・ DC ノイズ:- ・ 位相の変化: xy-①② yx-①②



付図-132 測定点 169 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 170 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性: ・DC ノイズ:?
・位相の変化:-



付図-133 測定点 170 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 171 の所見:



・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-②⑤

付図-134 測定点 171 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 172 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: -

・DC ノイズ:有り ・位相の変化:xy-④ yx-?





測定点 173 の所見:

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DC ノイズ:- ・位相の変化:xy-④5 yx-④5



付図-136 測定点 173 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 174 の所見:

 $\rho_{axy}$ には特に不自然な変化は認められない。 $\varphi_{xy}$ は 600Hz 付近で不自然に折れ曲がった後 急激に減少するが、 $0^{\circ}$ に近い値に漸近する訳ではない。 $\rho_{ayx}$ には特に不自然な変化は認めら れない。 $\varphi_{yx}$ は 500Hz 付近でやや不自然に折れ曲がり、それ以降急激に減少するが、-180° に近い値に漸近する訳ではない。

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: - ・ 位相の変化: xy-③④ yx-③④





測定点 190 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性: - ・ DC ノイズ: 有り ・ 位相の変化: xy-③h⑤ yx-②h





測定点 200 の所見:

異常値が存在したためか,大多数のデータが削除されている。残されたデータについては,  $\rho_{axy}$ , $\rho_{ayx}$ とも 1kHz 以下の連続性が非常に悪く, $\varphi_{yx}$ には異常値が多数存在する。 ・ $\rho_a$ の連続性:悪い ・DC ノイズ: - ・位相の変化:xy-④ yx-①④





- 172 -

測定点 w01 の所見:

・ ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・ DC ノイズ:有り ・ 位相の変化: xy-⑤ yx-②<sup>h</sup>



付図-140 測定点 w01 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(○:xy, ×:yx)

測定点 w04 の所見:

異常値が存在したためか、30Hz 未満のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ はそれほど不自然な変化をしている訳ではない。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz~200Hz 間で 90°を上回る異常値を取る。 $\rho_{ayx}$ はそれほど不自然な変化をしている訳ではない。 $\varphi_{yx}$ は 1kHz~2100Hz で- $180^{\circ}$ を下回る異常値を取る。

・ρ<sub>a</sub>の連続性:- ・DCノイズ:- ・位相の変化:xy-①h② yx-①②





測定点 w05 の所見:

異常値が存在したためか,大多数のデータが削除されている。残されたデータについては, 4種のデータとも連続性が非常に悪く,位相には多数の異常値が存在する。

・ $\rho_a$ の連続性:悪い ・DC ノイズ:- ・位相の変化:xy-①h②h yx-①h②h



付図-142 測定点 w05 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

測定点 w06 の所見:

・*ρ*<sub>a</sub>の連続性:-・DCノイズ:有り・位相の変化:xy-④ yx-⑤




測定点 w08 の所見:

異常値が存在したためか、400Hz 付近のデータが削除されている。残されたデータについては、 $\rho_{axy}$ は 100Hz 以下では 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{xy}$ は 1kHz 少し手前と 400Hz 付近に大きな値のギャップが存在し、100Hz 前後では 0°前後の値を取るが、50Hz 以降は増加傾向を示す。 $\rho_{ayx}$ は 4kHz~60Hz 間で連続性があまり良くなく、60Hz 以下では 45°の傾きで増加していく。 $\varphi_{yx}$ は 400Hz および 30Hz 付近に値のギャップが存在し、30Hz 未満では-180°以下の値が続く。

・ $\rho_a$ の連続性: - ・DC ノイズ: 有り ・位相の変化: xy- $2^h$  yx-2



付図-144 測定点 w08 で得られた見掛比抵抗 ρa と位相 φ の値(〇:xy, ×:yx)

This is a blank page.

表 1. SI 基本単位					
甘大昌	SI 基本単位				
盔半里	名称	記号			
長さ	メートル	m			
質 量	キログラム	kg			
時 間	秒	s			
電 流	アンペア	Α			
熱力学温度	ケルビン	Κ			
物質量	モル	mol			
光 度	カンデラ	cd			

表2. 基本単位を用いて表される	SI組工単位の例				
a 立 是 SI	SI 基本単位				
名称	記号				
面 積平方メートル	m <sup>2</sup>				
体 積 立法メートル	m <sup>3</sup>				
速 さ , 速 度 メートル毎秒	m/s				
加速 度メートル毎秒毎	秒 m/s <sup>2</sup>				
波 数 毎メートル	m <sup>-1</sup>				
密度,質量密度キログラム毎立	ちメートル kg/m <sup>3</sup>				
面積密度キログラム毎平5	ちメートル kg/m <sup>2</sup>				
比体積 立方メートル毎日	キログラム m <sup>3</sup> /kg				
電 流 密 度 アンペア毎平方	$\vec{r} \neq - \mathbf{k} \mathbf{k} = \mathbf{k} \mathbf{k} \mathbf{k} \mathbf{k}^{2}$				
磁界の強さアンペア毎メー	・トル A/m				
量濃度 <sup>(a)</sup> ,濃度モル毎立方メー	・トル mol/m <sup>8</sup>				
質量濃度 キログラム毎立法	去メートル kg/m <sup>3</sup>				
輝度カンデラ毎平方	$i = \mathcal{N} - \mathcal{N}$ $cd/m^2$				
屈 折 率 <sup>(b)</sup> (数字の) 1	1				
比透磁率 (b) (数字の) 1	1				
(a) 量濃度(amount concentration) は臨床化	学の分野では物質濃度				
(substance concentration) ともよばれる。					

(b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

## 表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

			SI 租工单位	
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
平 面 隹	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立 体 催	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 (b)	$m^{2/}m^2$
周 波 数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz	-	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	Ν		m kg s <sup>-2</sup>
压力,応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	$m^{-1} kg s^{-2}$
エネルギー,仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
仕 事 率 , 工 率 , 放 射 束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷,電気量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
磁床	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^2 A^1$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m <sup>2</sup>	$\text{kg s}^{2} \text{A}^{1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^{-2} A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd
照度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> cd
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2 s^{-2}$
線量当量,周辺線量当量,方向 性線量当量,個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	$m^2 s^{\cdot 2}$
酸素活性	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

酸素活性(カタール) kat [s<sup>1</sup> mol
 (a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや コヒーレントではない。
 (b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明 示されない。
 (a)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (a)へルツは周頻現象についてのみ、ペラレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (a)へルツは周頻現象についてのみ、ペラレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (a)へルツは周頻現象についてのみ、ペラレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (b)からさは同一である。したがつて、温度差や温度問題を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (b)放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

#### 表4.単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

	S	I 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
表 面 張 九	リニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	$rad/s^2$	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{-2} K^{-1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^{2} s^{2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> sA
表 面 電 荷	「クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> sA
電東密度,電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> sA
誘 電 率	「ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透磁 率	ミヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^1$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> sA
吸収線量率	ダレイ毎秒	Gy/s	$m^{2} s^{3}$
放 射 強 度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放 射 輝 度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	$m^{-3} s^{-1} mol$

表 5. SI 接頭語							
乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号		
$10^{24}$	<b>э</b> 9	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d		
$10^{21}$	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	с		
$10^{18}$	エクサ	E	$10^{-3}$	ミリ	m		
$10^{15}$	ペタ	Р	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ		
$10^{12}$	テラ	Т	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n		
$10^{9}$	ギガ	G	$10^{-12}$	ピコ	р		
$10^{6}$	メガ	M	$10^{-15}$	フェムト	f		
$10^3$	+ 1	k	10 <sup>-18</sup>	アト	а		
$10^{2}$	ヘクト	h	$10^{-21}$	ゼプト	z		
$10^{1}$	デカ	da	$10^{-24}$	ヨクト	v		

表6.SIに属さないが、SIと併用される単位					
名称	記号	SI 単位による値			
分	min	1 min=60s			
時	h	1h =60 min=3600 s			
日	d	1 d=24 h=86 400 s			
度	۰	1°=(п/180) rad			
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad			
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad			
ヘクタール	ha	1ha=1hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>			
リットル	L, 1	1L=11=1dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>			
トン	t	$1t=10^{3}$ kg			

# 表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で

衣される剱値が美敏的に侍られるもの					
	名	称		記号	SI 単位で表される数値
電	子 オ	ドル	ŀ	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダ	ル	F	$\sim$	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統-	一原子	質量単	单位	u	1u=1 Da
天	文	単	位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m

## 表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 <sup>-10</sup> m
海 里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2=(10^{-12} \text{ cm})2=10^{-28} \text{m}^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーバ	Np	の単位しの教徒的な関係は
ベル	В	対数量の定義に依存。
デジベル	dB -	

### 表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値		
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J		
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N		
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s		
ストークス	$\operatorname{St}$	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{ m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$		
スチルブ	$^{\rm sb}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd } \text{ cm}^{\cdot 2} = 10^4 \text{ cd } \text{m}^{\cdot 2}$		
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> 10 <sup>4</sup> lx		
ガル	Gal	$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{-2} = 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$		
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$		
ガウス	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{-2} = 10^{-4} \text{T}$		
エルステッド <sup>(c)</sup>	Oe	1 Oe ≙ (10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>-1</sup>		
(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ▲ 」				

は対応関係を示すものである。

		3	表10.	SIに 尾	<b>禹さないその他の単位の例</b>
	名	称		記号	SI 単位で表される数値
+	ユ	IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
$\scriptstyle  u$	ン	トゲ	ン	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ			ド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
$\scriptstyle  u$			ム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガ		$\sim$	7	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フ	T.	N	11		1フェルミ=1 fm=10-15m
メー	ートル	系カラ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
ŀ			ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大 気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
力		IJ	ļ	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J(「熱化学」カロリー)
3	カ	17	~		$1 = 1 = 10^{-6}$ m