



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	古蠟管レコード資料からの音声再生 (T.Asakura, "Reproduction of the Sounds from Old Wax Phonograph Cylinders.")
Author(s)	朝倉, 利光
Description	ポーランドのアイヌ研究者 ピウスツキの仕事 : 白老における記念碑の序幕に寄せて. 2013年10月20日. 北海道大学学術交流会館. 札幌市 主催: 北海道ポーランド文化協会, 北海道大学スラブ研究センター. 共催: グローバルCOE プログラム「境界研究の拠点形成」. 協力: 駐日ポーランド大使館, ポーランド広報文化センター
Relation	「ポーランドのアイヌ研究者 ピウスツキの仕事 : 白老における記念碑の序幕に寄せて」研究会報告集
Issue Date	2013-10-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/53483
Type	conference paper
File Information	31Asakura.pdf



古蠟管レコード資料からの音声再生*

朝倉 利光

エジソンの発明による蠟管式蓄音機が、前世紀末から今世紀初頭にかけて音声記録するために使われ、その結果として多くの貴重な録音蠟管レコード資料が残されてきた。現在、この文化遺産としての蠟管レコード資料の保存方法や音声再生技術の確立などが重要課題となっている。ここでは、B.ピウスツキ、北里闌、加計正文が残した録音レコード資料に関して、録音した3人の人物像、録音蠟管の意義、蠟管レコード、録音蠟管からの音声再生について紹介する。特に、レーザー利用による非接触型の光学式音声再生法について詳細に解説する。

1. まえがき

1991年10月30日から11月2日の4日間、サハリン(旧樺太)のユジノサハリンスク(旧豊原)にあるサハリン州郷土博物館で行われたブロンスワフ・ピウスツキ(Bronisław Piłsudski)生誕125周年国際シンポジウムに出席した。会場となった郷土博物館は、かつての樺太庁博物館で、日本の城を思わせる純日本式建築は日本時代の貴重な名残りであり、日本と関係の深いピウスツキを記念するシンポジウムに最もふさわしい会場であった。シンポジウムの内容は、小生の講演を除いてすべてピウスツキを記念する文化人類学、民族音楽、言語学に関するものであった。小生の講演は、“レーザーを用いたピウスツキ古蠟管からの音声再生”であり、ただ一つの工学的研究の成果であった。シンポジウムの会長 V.M.Latyshev が、シンポジウム最後の総括において、小生の講演に対して「シンポジウムにすばらしい花を添えていただいた」と賛辞を述べられた。シンポジウム終了後に、サハリン北部の少数民族への3日間の訪問旅行が計画され、ユジノサハリンスクから北方へ延々15時間の汽車の旅でサハリン鉄道の終着駅ノグリキを訪問した。ノグリキは北緯52度

に近いオホーツク沿岸の町で、そこはかつてピウスツキが1時期生活を共にしたニブヒ(ギリヤーク)族が住んでいる所である。そこではニブヒ族から暖かい歓迎を受け、特にピウスツキがかつてニブヒ族に出会い、その生活に駆け込んでいった過程を演劇にして紹介されたのには非常に感激した。演劇の終了後に、ピウスツキ復活に多大な貢献をしたとして、今回のシンポジウムを開催した会長であるLatyshevとピウスツキが録音した蠟管からの音声再生を行ったとして小生が表彰を受けた。ポーランドの人類学者ピウスツキは世界でも有数のアイヌ研究者でありながら、その業績と生涯はまだ多くの謎に包まれている。ところが、従来その所在が明らかでなかった彼の樺太流刑時代の録音蠟管がポーランドで発見され、65本が日本での再生・解読を目的に1983年(昭和58年)7月4日にポーランドから北海道大学応用電気研究所に運ばれてきた。

録音蠟管は、約一世紀前の製品であり、かつその保存が悪かったため相当に劣化が進んでおり、情報内容を解析する前に、音声再生に高度の技術的研究が要求された。したがって、工学的音声再生のための研究が続けられ、一応の成果が得られた。音声再生と合わせて、内容の

解析が言語学と民族音楽の立場から行われてきた。一方、この機会を契機にピウスツキの生涯・業績とその周辺の発掘も文化人類学的立場から精力的に行われてきた。このようにして、ピウスツキ録音蠟管に関する研究は、工学、言語学、民族音楽、文化人類学の多方面にわたる学際的協力関係で研究が進行して今日に至った(文献 1-3)。ピウスツキ蠟管の研究が進められていることが報じられたことがきっかけで、録音蠟管約 240 本が京都の大谷大学図書館で発見された。この蠟管に音声を録音したのは、北里闌(たけし)である。また、広島県山県郡加計町の旧家、加計慎太郎氏の蔵の中に夏目漱石の蠟管のほか 4 本が見つかった。この蠟管は、加計家の先代にあたる 22 代目の加計正文が録音したものである。

1986 年(昭和 61 年)2 月 25 日に、再生の役割を終えた録音蠟管は、ポーランドに返還されるために北海道大学応用電気研究所を離れ、2 月 28 日に新東京国際空港から航空便で返還された。一方、北里録音蠟管も再生が終了し、2 月 26 日に大谷大学に返還された。しかし、加計録音蠟管に関しては、再生が困難をきわめ、依然として再生作業が続けられている。

以上の録音蠟管 3 件にまつわる周辺的话题を、特に(1)録音した 3 人の人物像、(2)録音蠟管の意義、(3)蠟管レコード、(4)録音蠟管からの音声再生の工学的諸問題について、多角的観点から紹介する。

2. 録音した 3 人の人物像

2.1 プロニスワフ・ピウスツキ(文献 1-3)

プロニスワフ・ピウスツキは、ロシア領ヴィリノのポーランド人地主の家に第 3 子長男として 1866 年に生まれた。1 年後に、後にポーランド独立後、国家元首となった弟ユゼフ・ピウスツキが誕生した。この兄弟はともにペテルブルグ(旧ソ連のレニングラード)大学に進学したが、同じ大学の学生アレクサンドル・ウリヤノフ(レーニンの兄)らのロシア皇帝アレクサンドル三世暗殺陰謀事件が発覚し、これに連座して 1887 年に逮捕された。元老院で開かれた特別法廷で 15 名全員に絞首刑の判決が下され、

アレクサンドル・ウリヤノフら首謀者 5 名は絞首刑に処せられたが、残るピウスツキ兄弟を含む 10 名は死刑を免れた。そして兄と弟は樺太流刑 15 年と 5 年の刑に処せられた。ピウスツキは、それ以来 10 年間(刑期は恩赦令で 3 分の 2 に減刑)、国事犯として樺太に囚われの身となったが、その環境にもめげずに樺太原住民の社会にわけ入り、とりわけ原住民ニブヒの実地調査を行った。1896 年に刑期満了に伴って移住民の資格を取得し、南樺太の科尔サコフに開設された測候所に勤務し、それを機会に樺太アイヌに関心をもつようになった。その後ウラジオストークに渡り、そこの博物館に勤務するようになったが、ロシア科学アカデミーの依頼もあってそこから樺太にアイヌ調査研究に出かけた。このとき、アイヌの酋長バフンケの姪と結婚し、1903 年に長男、1905 年に長女をもうけた。問題の蠟管は、この頃にピウスツキが調査費でエジソン式蓄音機と蠟管を購入し、自分の手で録音したものである。

図 1 は樺太滞在中のピウスツキ、図 2 は樺太原住民と一緒に撮ったピウスツキの写真である。



図 1 樺太滞在中のピウスツキ



図 2 樺太原住民と一緒に撮ったピウスツキ
(座っている左側の人、右側はロシア人)

日露戦争がおこると、ポーランド社会党の指導者となった弟ユゼフ・ピウスツキは日本の援助を求めて東京にやってきたが、それに成功することなく、去って行った。しかし、このことを兄ピウスツキは知らないままに、1905年に函館にやってきて、東京、神戸、長崎と駆けめぐり、1906年に日本を離れてポーランドに帰った。この間、彼は文学者の二葉亭四迷、横山源之助、アイヌ学者の鳥居竜蔵、坪井正五郎、神保小虎、村尾元長、政治家の大隈重信、山縣有朋、島田三郎、そして日本の社会主義者らと多岐にわたる親交を結んだ。ピウスツキは、特にアイヌ救済を熱心に訴えて歩いた。彼はアイヌ原住民とその文化の理解者であり、保護者であり、アイヌ民族への愛情に燃えていた。

1906年にポーランドに帰ったピウスツキは、学歴不足から研究職にもつけないで、学位取得のためフランスとスイスに留学したが、いずれも資金不足で挫折してしまった。しかし、1911年から1914年にかけて博物館や科学アカデミーに就職ができて研究生生活が始まりかけたが、第一次大戦の戦雲に追いやられて再び流浪の旅に押しやられた。そしてスイスからフランスと渡り歩き、1917年末頃にパリに流れついたが、1918年5月21日セーヌ河のミラボー橋のふもとで水死体として発見された。死亡については、パリ警察の検視で自殺と断定されているが、その真相はいまなお明らかでない。遺体は、パリ北方のモンモラシーにあるポーランド人墓地に眠っている。

2.2 北里闌

北里闌は、破傷風の血清療法の発見者として世界的に有名な医学者、北里紫三郎のいここにあたる。北里は、1871年(明治3年)に熊本県に生まれ、東京大学文学部を卒業後、若き日約5年間をドイツ留学で過ごし、大阪医大(現阪大医学部)で長くドイツ語教授を務めた。ドイツ語教授のかたわら、日本語の起源研究に没頭した在野の言語学者でもある。1929年(昭和4年)から1931年にかけて日本語のルーツを求めて、南はボルネオ、フィリピンから北は北海道、樺太まで研究旅行をし、各地の民謡や方言をエジソン式蓄音機を使って蠟管に録音した。北里は、

「日本語の起源は、アイヌ語と朝鮮語、それに南洋語の混じったもの」という学説を主張し、それを証明するため各地の言語を収録した。これらをもとに、「日本語源研究の道程」「日本語の根本的研究」「日本古代語音組織考」などを著した。1960年(昭和35年)死去。

2.3 加計正文

夏目漱石の録音による蠟管は、広島県山県郡加計町の旧家、加計慎太郎氏の蔵の中にあった。この蠟管は、加計家の先代にあたる22代目の加計正文(1881年(明治14年)～1969年(昭和44年))が、1905年(明治38年)10月27日に漱石に依頼して録音したものである。正文は、東大文学部英文科に進んだが、林業や鉱山で栄えていた加計家を継ぐため、東大を中退し同町に帰っていた。しかし、東大時代の恩師夏目漱石を懐かしみ、彼に依頼して許可を得たのち、上京して録音したものである。蔵から出された蠟管は、特注の桐と紙ケースに丁寧に納められ、蓄音機とともに保存されてあった。漱石の蠟管のほかに4本あり、うち1本は正文の親友で、かつ漱石門下の児童文学者、鈴木三重吉が録音した「潮来節外」で、残り3本は内容が不明である。桐箱には、蠟管のほかに漱石、三重吉の書簡がたくさん残されており、正文が彼らと交友が深かったことをうかがわせた。図3は、蠟管とそのケースである。

正文は加計町に録音蠟管をもち帰ったあと、漱石を懐かしみながら時々聞いていた。しかし、次第に蠟管が針でいたみ、だんだんに聞きにくくなり、1919年(大正8年)に聞いたのを最後に蔵の奥深く納めてしまった。その後、鈴木三重吉や小宮豊隆(漱石門下の文学者)の要請で何回か蔵から出して蓄音機にかけてみたが、すでに漱石の声を聞くことができずに、再び蔵の中

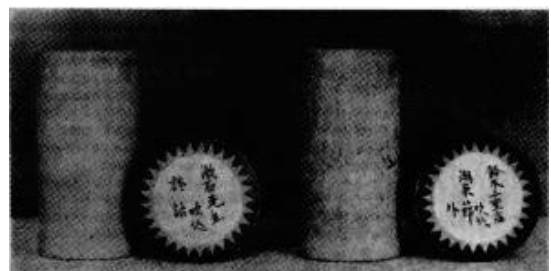


図3 夏目漱石と鈴木三重吉の録音した蠟管(白色に変質している)とケース

に入れられて現在に至っている。蠟管は加計地方の特有な湿潤な気候と蔵特有の環境により、白いかび状のものでおおわれて劣化が進んでおり、かつ摩耗により音溝がほとんど消えており、音声再生の見通しは非常に暗い。

3. 録音蠟管の意義

3.1 ピウスツキ蠟管^(文献2)

ピウスツキは世界でも有数のアイヌ研究者であるが、余りにも波乱に富んだ生涯であったためか、その生涯と業績にはまだ謎に包まれている部分が多い。彼は1896年から1905年の間、樺太にあって原住民であるアイヌの中で長期間にわたって生活し、アイヌ語に精通できたただ一人の研究者であり、南樺太全域のアイヌ言語の資料を多く残した。さらに口承文学の採集と、それへの具体的、客観的考察を行い、これらはアイヌ語研究史において輝かしい業績となっている。

ピウスツキの仕事でひととき異彩を放つものの、蠟管蓄音機による樺太アイヌ語の音声収録がある。言葉はいかに詳細に記載されていても、時間とともにそれから音声を再現することは難しくなる。したがって、現代では人類学者の必要な仕事に音声をテープレコーダーに収録することがある。この仕事の先駆的なことを、ピウスツキは当時の新製品である蓄音機と蠟管で行っていたわけである。彼の音声収録は、アイヌ口承文学の諸文学様式を明らかにする上で貴重な資料である。さらに、蠟管には祭り歌、恋慕歌、舟歌、酒謡、神謡など民族音楽が多く含まれておりアイヌ音楽の貴重な資料でもある。また、蠟管にはハウキやオイナといった各種の神話や伝説が多く収録されている。これらはアイヌ文化の具体的要素を豊富に含むもので、文化人類学上から貴重な資料である。

以上のように、ピウスツキ録音蠟管は言語学、民族音楽、文化人類学において極めて貴重な資料であり、その解明はそれらにおいて重要な意義をもっている。しかし、長期にわたって放置されて劣化してきた蠟管からの音声再生には、工学的再生の技術的研究が重要であり、それなくして前記の学術的研究への出発ともなり得

ない。本再生研究を通して得られてきた工学的再生法の確立は、世界に放置されている多くの劣化した古蠟管からの再生に利用することができる。すなわち、音声再生方法の確立は、埋もれた貴重な文化遺産である未再生の古蠟管からの情報収集の可能性を開くものである。

3.2 北里蠟管と加計蠟管

北里蠟管には、アイヌ語、八雲方言、秋田方言、熊本方言などの日本語の各方言、台湾の高砂族の言語、フィリピン諸島のサマール、タガログ、ブラカン、バゴボなどの諸方言が生々しい音声で収録されている。日本語の方言の場合は、まだラジオなどで標準語が全国に流れなかった時代の“原方言”の発掘に重要なデータを提供している。アイヌ語や台湾の高砂族の言語、フィリピンの諸言語は、いずれも類例のない貴重な音声資料である。

加計蠟管に含まれる夏目漱石や鈴木三重吉の音声は、もし再生が成功した場合には、日本の偉大な文豪の肉声として文学書以外からの資料となり、社会的に貴重な資料となるであろう。

4. 蠟管レコード^(文献4)

1900年前後に使用されたレコードは円筒と円盤の2種類があった。円筒式はエジソンが1877年に錫箔蓄音機として発明したのが最初で、蠟管式に改良して実用化された。図4は、エジソン式蓄音機の一つである。



図4 蠟管式蓄音機(エジソンスタンダードA)

一方の円盤はドイツ人ベルリーナが1887年に考察したもので、現在のレコードの原形であ

る。この2方式は形状ばかりでなく音声の記録方式も異なっていて、円筒の場合は音溝の垂直方向の変化が、円盤では左右の変位が音声信号に対応している。

標準的な蠟管は直径 55mm、長さ 105mm の円筒に、254 μ m ピッチで音溝がねじ状に刻まれている。したがって、一本の蠟管には約 400 本の音溝があり、約 2 分の録音ができる。図 5 は、保存状態のよかったピウスツキ蠟管のケースと蠟管である。図 6 に、エジソン式蓄音機による蠟管への音声録音の過程を示す。

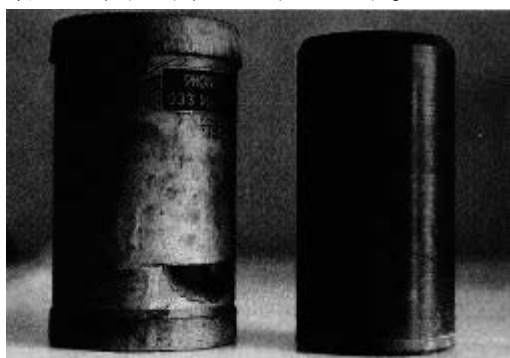


図 5 ピウスツキ録音蠟管のケース(左)と蠟管(右)

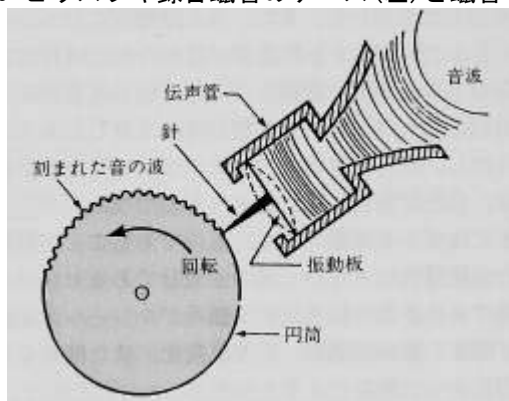


図 6 エジソン式蓄音機による録音過程

当時は音声直接方式の録音時代で、録音時はホーンに顔を近づけて発音させたり、ホーンの代りにチューブを接続して口にあてて発声させた。また、スタイラス(針)の代りにカッターを用いて蠟管の表面を削り取るようにして音溝を刻んでいた。したがって、音圧の強度に対応して溝の深さが変化しているが、音響エネルギーだけで溝を刻むため、その深さは最大で 50 μ m 程度である。ただし、ピウスツキ録音蠟管は録音技術が未熟であったためか、深くても 10 μ m 程度である。

4.1 物理化学特性

蠟管レコードは、赤外線スペクトログラムに

よる分析結果から、ブラジル産のヤシ(*Corypha Cerifera*)の葉から採取したカルナバ蠟(*Carnauba wax*)を主成分とするものであることが判明した。カルナバ蠟の原材料は黄緑色や褐色のものであるが、ヤシの種類および精製方法によって幾つかにさらにわかれる。いずれも約 90%が脂肪酸であり、ほかに炭水化物、高級アルコールなどが含まれている。

カルナバ蠟は天然蠟中で最も固く、磨くと光沢があり、83~86℃の高融点を示す。融点に達した蠟が自然凝固(凝固点 72~82℃)した場合、その表面は他の蠟に比べて、均一で細かく削工研磨の効率もよいことから、蠟管レコードの素材として適当であった。しかし、40℃以上で硬度が急激に低下し、各種溶剤に溶けやすくなる。他の蠟と同様に温度変化による膨張収縮率が大きいいため、部分的に加熱あるいは冷却した場合には亀裂が生じやすい欠点がある。

ピウスツキの蠟管は、黄茶色、焦茶色、黒焦茶色、黒色の4種でエジソンフォノグラフ社とコロムビアフォノグラフ社のものである。それらはカルナバ蠟だけでできているわけではなく、カルナバ蠟のよい性質を残し不適當な点については増量剤や安定剤を混入して改良している。特に、黒色系のものはモンタン蠟(カッ炭より抽出した鉱物性蠟)を加えていた可能性がある。蠟管レコードの機能を十分に発揮させるため各企業独自の成分、製法を極秘に試みていたと考えられる。

4.2 保存状態と修復

ピウスツキ蠟管や加計蠟管は保存状態が非常に悪く、ほぼすべての蠟管に白色変質物が認められる。図 7 に示すように、それらが粉化し薄く白っぽくなっているもの、白く濃く大小の班点のあるものが多く、情報再生時の雑音の最大の原因となっている。また、多くの蠟管にひっかき、擦れ、圧着などに原因する表面傷が認められ、10 数本は大きな亀裂があり、複数に破損している。

白色変質物については、肉眼ではカビなどの微生物によって生じたものにみえる。しかし、赤外線吸収スペクトログラムによる分析結果からは、白色変質物はカビによるものでなく、

カルナバ蠟の成分にわずかな変質が生じたものであることが推測される。白色変質物はカルナバ蠟の主成分であるセロチン酸や混合物である少量の炭水化物、蠟系アルコール、高級脂肪酸など経年の紫外線照射、温湿度変化、また酸化などの分解作用によって生じたと考えられる。

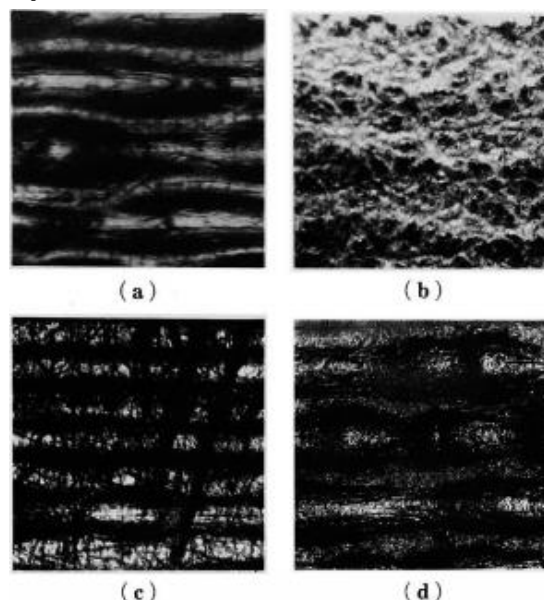


図7 蠟管の音溝の拡大写真: (a) 保存状態のよいもの、(b) 白色変質物で覆われているもの、(c) 大きな傷のあるもの、(d) レプリカの表面

いずれにしても、再生にあたって修復が必要となった。カルナバ蠟は40℃以上で各種溶剤に溶け、常温でも反応しやすく化学溶剤で洗浄除去することは蠟管本体に危険であり、またこの白色変質物は水に不溶である。この白色変質物は、変質脂肪酸や経年に耐えにくい蠟管の混合物である炭水化物、樹脂水分などの混合物であるという推測によって、これらの分解除去をごく自然に安全に行うことを目的に消化酵素の使用を考えた。これには大根に含まれるアミラーゼ(ジャスターゼ)の効力を活用することにした。アミラーゼはpH5.2~5.8、60~65℃の時に最も活性が強いが、蠟管のカルナバ蠟は温度変化による膨張収縮率が大きく亀裂のあるものなどに危険であるので常温処理を行った。この処理の効果として、特に表面の黄変した油脂と白色変質物を30%近く減少させることができた。

複数の破損しているものは、蠟管内型の芯棒の上でシアノアクリレート系の接着剤を用い

て接合組み立てた。図8は、ピウスツキ蠟管の複数個に破損した蠟管の修復前後の写真である。これに使用する接着剤の強度は、蠟管の力学的強度と同質であることが望ましい。欠損や幅の広い亀裂をもつものは、触針式による再生の際に、触針先が250μmと極小であり、内部に落ち込み停止する問題が生じるため充填塑型にすることにした。それには低融点、強接着力の可塑材が理想であるため、充填剤を特に用意した。

さらに半永久的に蠟管を保存するための措置として、つぎに述べるエポキシ樹脂によるレプリカの作成を行った。

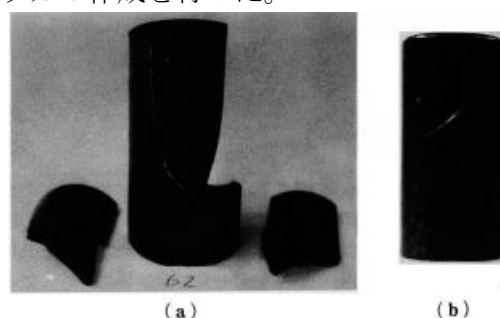
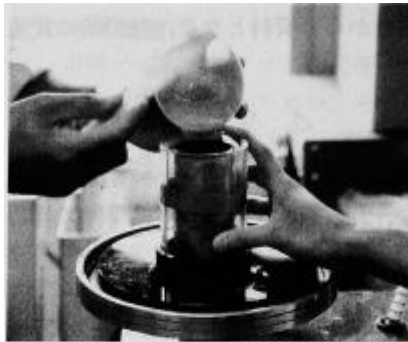


図8 ピウスツキ蠟管の修復前後の写真:
(a) 修復前、(b) 修復後

4.3 レプリカの作製

レプリカ(複製)の製作では、歯科治療における義歯作製の技術を応用した。図9(a)に示したように、まず母型を作るためにアクリルパイプ(直径10cm)で作った型取り外枠の中心に蠟管を固定し、歯科材料で用いられる印象剤を流し込んだ。印象剤としては、収縮が少ない、寸法精度が高い、流動性がよいなどの理由から付加重合型ビニールシリコン(GC社 EXAFLEX F)を利用し、蠟管の溝に密着させるために、印象剤を塗布してから圧縮空気を吹きつけた。また、印象剤を注入するときは、気泡除去のためバイブレータで振動を加えた。約6分で硬化した後、外枠をはずしシリコンを外側に広げながら蠟管を抜き取った。つぎに、電子顕微鏡の試料作製に利用されるエポキシ樹脂包埋剤(Taab社、Spurr Resin)をスターラで十分攪はんし、真空装置で溶液中の気泡を除去してから、図9(b)に示すように母型に注入した。恒温槽に入れ60℃のもとで、36時間かけて硬化させた。図7(d)のレプリカの顕微鏡写真からわかるように、1μm

程度の精度が得られており、エジソン式蠟管再生機で再生しても原蠟管音声と変わらない音色が得られていることが確認できた。



(a)



(b)

図9 レプリカの作製順序: (a) シリコンの流し込み、
(b) エポキシ樹脂の流し込み

5. 録音蠟管からの音声再生

5.1 従来の蠟管蓄音機^(文献 5, 6)

蠟管蓄音機はエジソンフォノグラフ社(Edison Phonograph)、コロムビアフォノグラフ社(Columbia Phonograph)などで販売されていたが、その中でも 1900～1905 年にはエジソン社のホームフォノグラフモデル A (Home Phonograph Model A)、スタンダードフォノグラフモデル A (Standard Phonograph Model A)などが普及していた。録音機はいずれも、図 4、6 に示したように、蠟管を一定速度で回転させながら回転に同期してスタイラス(針)を直線移動させるようになっている。動力としてはゼンマイを利用しており、回転速度を一定に保つように機械式のガバナを備えていた。回転速度は、1902 年までは 144rpm で、それ以後は 160rpm である。

スタイラスは、曲率半径 8mil の円形が多く、再生用としてはサファイアが、録音時のカッター用としてダイヤモンドなどが利用されていた。スタイラスは金属棒の先端に固定されているが、先端が比較的自由に上下左右に動くため、蠟管に偏心があったり音溝が蛇行していても十分に追従していける。金属棒の他端は針金でダイヤフラムの中心に接続しており、スタイラスから伝達された機械振動が音響振動に変換される。ダイヤフラムは初期の頃は動物の皮、セルロイドなどで作られていたが、薄いマイカや銅板も多く利用されていた。

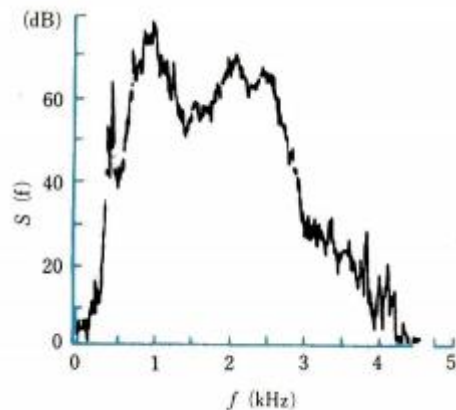


図10 蠟管蓄音機による再生音の長時間周波数スペクトル

蠟管に段落をつけて再生した衝撃音により再生系の周波数特性を求めた結果、低域は 100Hz 以下で高域は約 3.5kHz であることがわかった。しかし、ピウスツキ録音蠟管をエジソン式再生機スタンダード A(図 4)で再生し、その長時間周波数スペクトルを求めてみると、図 10 で示すごとくスペクトルの現れている範囲が 500Hz～3.5kHz と狭くなっている。これは録音系やホーンの周波数特性も大きく反映したためと考えられる。

当時の再生機の針圧は約 20g と大きく、その上に回転数が 160rpm と高速のため、回転時に針先端に加わる加速度は数 100m/s^2 前後に達すると考えられる。したがって、亀裂や欠落のある部分では、蠟管をいためてしまう危険性がある。そのため、蠟管を直接利用する場合には、音声信号検出として非接触のものを使用するか、接触式のときでも針圧の非常に小さいものを選択する必要がある。蠟管蓄音機の特徴の一つは手軽に録音できたことである。エジソンの

機械は針の変換だけで録音機として使える点から、単なる音声再生装置としてではなく、現在のテープレコーダーのように使われることも多かったようである。ピウスツキ、北里、加計らの目的には、このことが適当な道具となったと考えられる。

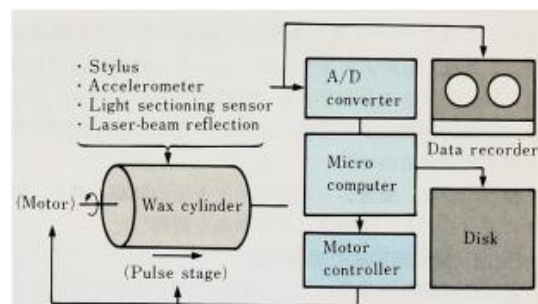


図 11 開発した再生系のブロックダイアグラム

5.2 音声再生システム

私達が開発した蠟管再生システムは、図 11 に示すように駆動部、検出部、データレコーダーおよびマイクロコンピュータからなっている。検出された信号はアンプ、フィルターを通った後にデータレコーダーに記録されるとともに、A/D コンバーター(12bit、10kHz)を介してフロッピーディスクに格納される。駆動装置は1回転につき音溝1本分だけ蠟管が移動するようになっており、検出部を固定したまま信号を検出できるようになっている。低速駆動用として、直径5cmのポリカーボネート棒に254 μ mピッチでネジを切った蠟管固定棒を作り、それをリールとワイヤーを介してステップモーターと結合し、ゆっくり回転させる方式を開発した。また、高速駆動用として蠟管をパルスモーターで回転させながら水平パルスステージにより直接移動させる方式を開発した。これは、駆動用の2つのパルスモーターの回転速度を独立に変化させることができるようになっているため、コンピューター制御により音溝にセンサーをトラッキングさせながら計測するのに適している。

検出部では、蠟管からの信号検出を変位計測と考え、以下に述べるごとく接触法と非接触法を開発した。

5.3 接触法による音声再生^(文献7)

接触法は触針を音溝にそって触れながら変

位を測定する方法で、検出部分には(i)表面粗さ計測用のセンサーと(ii)音響振動計測用のセンサーを使用した。前者は変位電圧変換部が差動トランスでできており、触針の変位を0.02 μ mの感度で測定することができる。また、針圧は最小0.07gと小さくとることができるので、直径10 μ m程度の触針を用いても、表面を傷付けることなく信号検出ができた。ただし、帯域がDC~50Hzと狭くなっているため、再生時の回転速度を本来の1/100以下に抑える必要があり、2分間の再生に4~8時間を要した。後者は周波数帯域が広いため実時間再生が可能であるが、回転速度を速くすると触針部と蠟管との間に摩擦音が生じそれが強大な雑音になる。触圧を大きくすると摩擦音は小さくなるが、こんどは蠟管表面を傷つけるおそれがある。いずれにしても触針法の場合は、触針と蠟管の接触部をどうするかが最も重要な問題となる。

まず表面粗さ計測用センサーを用いた場合の再生音について述べてみよう。エジソン式蠟管録音機で利用されていたスタイラスは、その先端部の直径が約200 μ mの球状あるいはだ円形のものであり、音溝の形状はこの針形がそのまま反映したものである。したがって、原音をできるだけ忠実に再生するためには、この形状を考慮する必要がある。一方、音溝の深さを正確に計測するには、針径をできるだけ小さくして溝の谷部の一番深いところに針を設置しなければならない。しかし、あまり針径を小さくすると蠟管表面の細かな傷や析出物を検出してしまい、溝の谷部を正確になぞるための制御機構が必要になってしまう。逆に、針径を大きくすると表面の細かな凹凸に反応しずらくなるのでそれだけ雑音は少なくなることになるが、周波数特性が低下する恐れがある。ここでは、いろいろな針径をもつ触針により再生を試み、針径の差異が再生音の音色にどのように反映するかを調べた。

図 12(a)、(b)、(c)に示したように、針の先端の形状をエジソン式と同様に半球形とし、針径が(a)10 μ m、(b)250 μ m、(c)800 μ mの3種類について再生し、その信号波形とスペクトルを比較した。なお、針圧はいずれも0.07g、回転速度は1.25rpmとした。

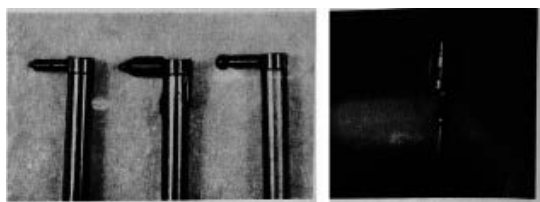


図 12 触針法で用いた種々のスタイラス(針):
(a)10 μ m, (b)250 μ m, (c)800 μ m, (d)300 μ m
(加速度センサーにボールペンを接着したもの)

その結果、図 13 に示すように、針径によって波形が大きく変化し、聴取実験からも音色の差が大きいことがわかった。ただし、図 13 は /rekuxkara/ と聴取される再生音声について示したものであり、図中の (d) はエジソン式再生機で再生したものである。明瞭性は (b)、(a)、(d)、(c) の順に高く、それぞれ雑音の音色も著しく異なった。また、スペクトルを比較すると、(a) では高域に雑音成分が集中しており、逆に (c) では低域に多い。エジソン式の場合、ちょうどバンドパスフィルターを通過したような特性を示しているが、これはダイヤモンドやホーンの特性が反映したためである。いずれにしても、エジソン式のピックアップに最も近い 250 μ m の径のものが優れており、しかもエジソン式よりも広帯域の信号を捕らえていることなどがわかる。

つぎに、実時間計測を目的に音響振動センサ

ーを利用する方法で得られる再生音を調べてみよう。

センサーとしては加速度型振動ピックアップ(B&K 社、8307、1Hz~25kHz)を用い、その出力を積分器(B&K 社、ZR0020、10Hz~10kHz)を通して速度になおしてから、インパルス精密騒音計(B&K 社、2209)により増幅した。前述のように、高速にすると触針と蠟管表面の間で摩擦音が生じてしまうので、ここでは図 12 (d) に示すように、触針部にボールペンの先を接着する方法を考案した。このボールは直径約 300 μ m であり、蠟管表面との適合性もよく、しかもボールが回転するために摩擦音が生じにくいという利点がある。

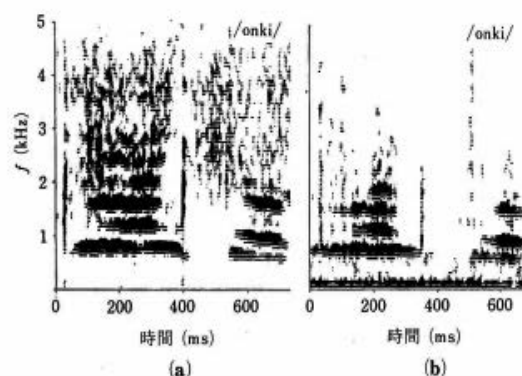


図 14 再生音の時間スペクトルパターン: (a) 加速度センサーによる、(b) レーザービーム反射法による再生

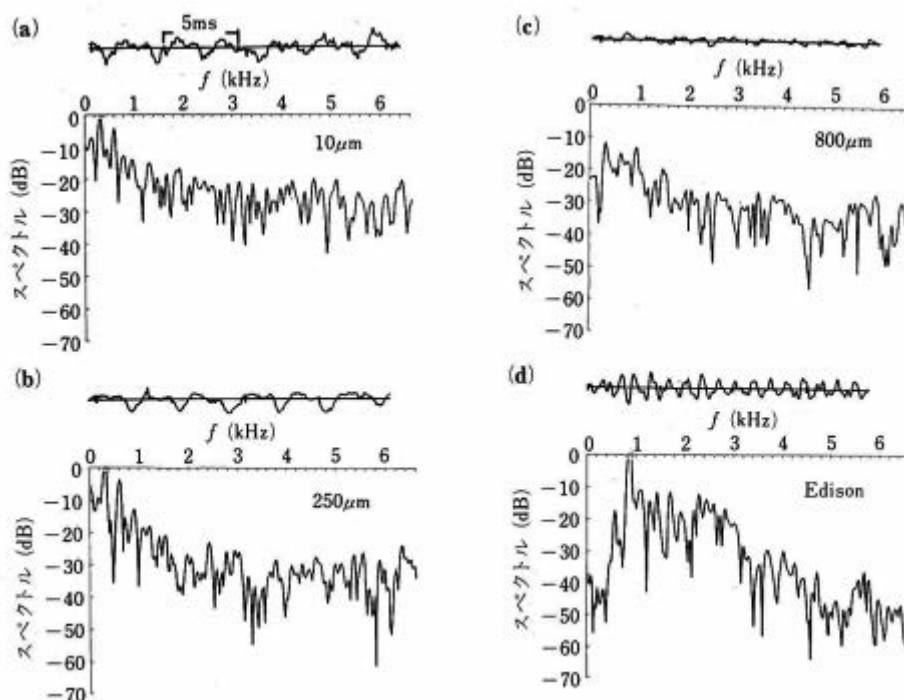


図 13 針径による再生音スペクトルの相違
(a)10 μ m, (b)250 μ m, (c)800 μ m, (d)エジソンスタンダード A による再生音

図 14(a)は、本方式により実時間再生した例であるが、作動トランスによる結果と比べてほとんど変わらないか、あるいはそれ以上の音質が得られることがわかった。ただし、実時間処理なので大きな傷があったり破損している蠟管には使用できない。

5.4 非接触法による音声再生^(文献 8)

ひびや破損のない蠟管に対しては前述の触針法による音声再生が可能であるが、そうでない場合には触針法による再生ができない。しかし、ひびや破損している蠟管や図 8 に示したような修復した蠟管にも貴重な音声収録されており、それらからの音声再生が期待される。そこで、これらの蠟管から音声を検出する強力な手段として、光を用いる非接触検出法を開発した。

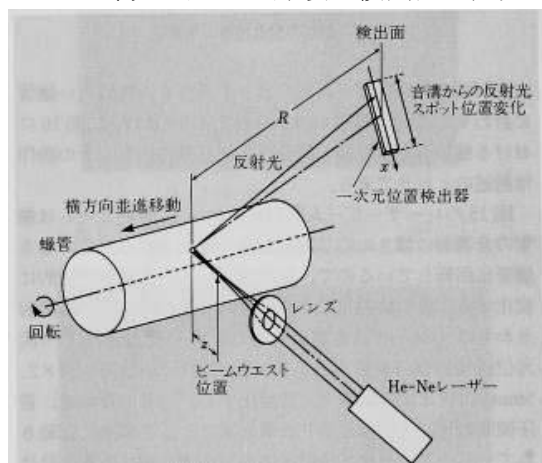


図 15 レーザービーム反射法の原理

まず最初に検討した方法は、表面粗さ計測用の光切断法の応用である。これは光切断用の特殊顕微鏡(ニコン製 Surface Finish Microscope 精度 $2\mu\text{m}$)を用いて、 $10\mu\text{m}$ の幅をもつ白色スリット光を蠟管の面に対して 45° の斜め方向から照射し、スリット光に対して 90° の方向からその反射光をとらえる方法である。音溝の山谷に対応して蠟管面に投影されたスリット光にも山谷が生じるが、この山と谷の差が音溝の深さに比例した値になる。この画像を顕微鏡に取り付けた固体カメラでとらえ、インタフェースを介してコンピューターに取り込んだ。しかし、実際に得られた画像は、蠟管表面の凹凸により乱反射が生じてしまい、得られたスリット反射光もとぎれとぎれになり、山谷を示す明瞭な線像にはならなかった。したがって、とぎれとぎれになった線を接続するような画像処理を行

った後に、山谷の差を算出する処理を行った。しかし、実際には画像処理に莫大な時間を要したので光切断法の応用は断念し、光切断法のスリット光に代わってレーザービームを蠟管に照射し、その反射光を位置検出センサーで実時間計測する方法を考察した。図 15 に、レーザービーム反射法による蠟管からの光学式音声再生の原理を示す。

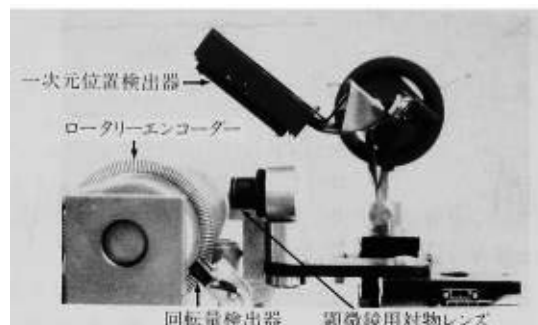


図 16 レーザービーム照射系

図 16 は、図 15 に対応するレーザービーム照射系の実際の装置である。HeNe レーザー光源からの光ビームを顕微鏡用対物レンズを通したのち、回転しながら光軸に垂直な方向に並進移動する蠟管に照射する。レーザービーム照射点におけるスポット直径は、対物レンズを光軸に沿って移動させ照射ビームのウエスト位置と蠟管表面に刻まれた音溝の幅 $254\mu\text{m}$ に対して適当に調節する。

表 1 距離 z の変化に対する照射ビーム直径の変化

z (mm)	照射ビーム直径 (μm)	z (mm)	照射ビーム直径 (μm)
0	30	8	215
1	40	9	241
2	61	10	267
3	85	11	294
4	110	12	320
5	136	13	347
6	162	14	373
7	188	15	400

表 1 に、距離 z を変化させたときの蠟管表面におけるスポット直径の変化を示す。触針法では構造上から針の直径を自由に変えることが困難であるが、レーザービーム反射法では照射ビームのスポット直径を再生したい蠟管に合わせて適切に調節することができる。

図 17 は、図 16 における蠟管の駆動装置の部分の平面写真であり、その動作は前述のとおりである。

図 15 のレーザービーム照射点において、照射ビームは蠟管の音溝面の傾きに応じた反射角で反射される。このとき蠟管は回転している

ので、反射光ビームの方向が時間的に変化する。この反射光ビームの方向をレーザービーム照射点から $R=30\text{mm}$ の距離に光軸と垂直に配置された一次元位置検出器(浜松ホトニクス製 PSD S-1352 34x2.5mm)の検出面の位置として検出する。蠟管の音声は、音圧強度の時間変化に対応する溝の深さとして音溝に記録されているので、一次元位置検出器で検出された位置信号は音溝面の傾きの時間的変化であるため音声信号となる。

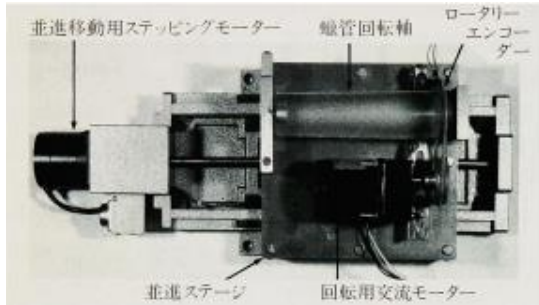


図 17 蠟管の駆動装置の平面図

図 18 は、一次元位置検出器を用いた光スポットの入射位置検出回路の概略図である。反射光スポットが一次元位置検出器の電極 1 から距離 x の点に入射するとき、電極 1 と電極 2 から取り出される電流 I_{x1} と I_{x2} は

$$I_{x1} = Ix/L$$

$$I_{x2} = I(L-x)/L$$

で表される。ここで L は一次元位置検出器の抵抗層の長さを表し、 I は入射光エネルギーで生成される全光電流を表す。電流 I_{x1} と I_{x2} の差と和の比を求めると

$$I_v \frac{I_{x1} - I_{x2}}{I_{x1} + I_{x2}} = \frac{2}{L} x - 1$$

となり、入射光エネルギーに関係なく、反射光スポットの入射位置 x に比例した電流が得られる。

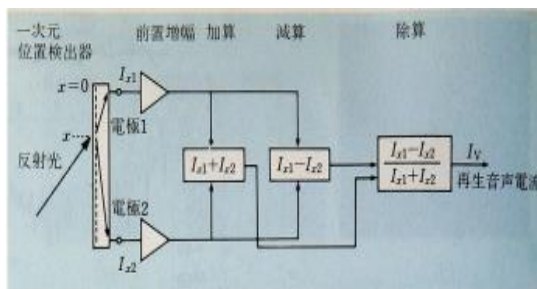


図 18 一次元位置検出器を用いた光スポットの入射位置検出回路

つぎに、上記の光学式音声再生法によって得

られた音声情報について検討してみよう。

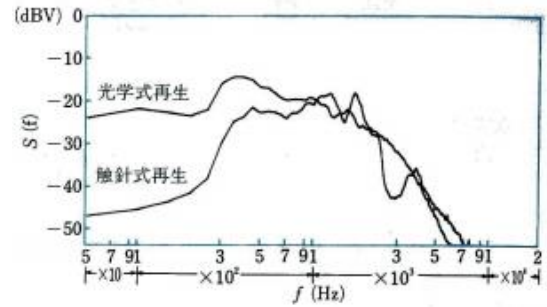


図 19 光学式再生法と触針式再生法による再生音声の長時間周波数スペクトル

(a) 再生音声

図 19 には、光学式再生法と触針式再生法による再生音声の長時間周波数スペクトルの比較を示す。この場合の光学式再生法では、レーザービームのウエスト位置から蠟管表面の照射点までの距離を $z=3\text{mm}$ に設定した。このとき、照射ビーム直径は $85\mu\text{m}$ となる。一方、触針式再生法では、直径 $300\mu\text{m}$ のインクを抜いたボールペンの先を針として使用した(図 12(d)を参照)。触針式再生法による蠟管からの再生音声を基準にして考えると、蠟管の音溝には $300\sim 4000\text{Hz}$ の周波数帯域にわたる音声情報が記録されている。

これと比較して、光学式再生法では $300\sim 1500\text{Hz}$ までの音声情報は再生されているものの、 1500Hz 以上の音声情報は高周波数帯域までのびている雑音にマスクされて判別できない。この高周波数雑音は聴取の際に大きな障害になるばかりか、再生音声の子音や摩擦音がこの雑音にマスクされて不明瞭になる。また、触針式再生法に比べて、光学式再生法では 300Hz 以下の低周波数雑音が増加している。この雑音は、再生音声の明瞭度を著しく低下させている。

光学式再生法による再生音声を聴取しながら、対物レンズを光軸に沿って移動させ蠟管上の照射ビーム直径を変えていくと、再生音声の明瞭度、音色、雑音特性が変化する。

図 20 に、照射ビームのウエスト位置から入射点までの距離 z を変えたときに得られる光学式再生法による音声信号の長時間周波数スペクトルを示す。表 1 から、距離 z が大きくなると蠟管上の照射ビーム直径も大きくなる。図 20 から、 $0 \leq z \leq 5\text{mm}$ の範囲では $300\sim 1500\text{Hz}$ 、6

$z \leq 10\text{mm}$ の範囲では $300 \sim 1000\text{Hz}$ 、そして $z \geq 11\text{mm}$ の範囲では 300Hz 付近のみの音声情報が再生されていることがわかる。

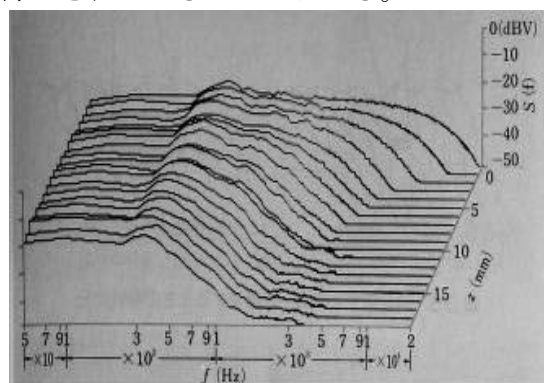


図 20 光学式再生法による再生音声の長時間周波数スペクトル

距離 z が大きくなったときの音声情報の高周波数成分の欠落は、照射ビーム内における反射光の方向に対する平滑化によるものである。音声情報の高周波数成分が欠落すると、子音や摩擦音が再生されなくなるばかりか、再生音声の明瞭度や音色が劣化する。したがって、再生音声の質のみに注目して聴取実験を行うと、 $0 \leq z \leq 5\text{mm}$ の範囲(照射ビーム直径になおすと $30 \sim 140\mu\text{m}$)で再生したときの音声最も自然であると考えられる。

(b) 雑音特性

図 19 と図 20 に示されるように、レーザービーム反射法で再生される音声信号には、距離 z が増加すると急激に低周波数帯域に向って減少する高周波数雑音と、距離 z の変化に無関係に一定強度で存在する低周波数雑音が含まれている。これらの雑音は、触針式再生法による音声信号には存在せず、レーザービーム反射法を用いた光学式再生法による音声信号に特有のものである。この雑音の原因を調べるために、 $z=0, 2, 4\text{mm}$ のときの検出面における反射光スポットの写真を図 21 に示す。

この図から、検出面には反射光スポットとともに空間的に不規則に分布する粒状性の明暗のパターンが生じていることがわかる。このパターンは、レーザー光のようなコヒーレント光を用いたときに生じる特有な現象で、スペckルパターンと呼ばれる(文献 9)。

図 21 のスペckルパターンは、蠟管表面の

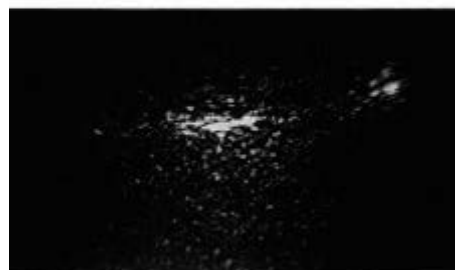
照射ビーム内に分布する波長程度のランダムな凹凸から散乱されたレーザー光が検出面で干渉して生じたものである。そこで、直接に蠟管表面を顕微鏡で観測してみた。



(a) $z=0\text{mm}$



(b) $z=2\text{mm}$



(c) $z=4\text{mm}$

図 21 検出面における反射光スポット：
(a) $z=0$ 、(b) $z=2\text{mm}$ 、(c) $z=4\text{mm}$



図 22 蠟管表面の顕微鏡写真

その結果が図 22 の写真で、蠟管表面は音溝のほかに非常に複雑な微細構造からなっていることがわかる。

これは長い年月の間に蠟が再結晶して生じたもので、蠟管全体を覆っている。この再結晶

析出物質による微細構造からスペックルパターンが生じ、これが音声再生時に図 19 と図 20 に示された雑音として検出されている。

白色ペイントを塗布した円筒物体から、図 21 のごときスペックルパターンが生じることがわかっているため、レーザービーム反射法において検出面に生じるスペックルパターンによる雑音特性を、蠟管とは独立に調べることができる^(文献 10)。そこで、蠟管と同じ形状のアルミニウム円筒の表面に白色ペイントを塗布し、レーザービーム反射法で音声再生の実行を行った。

図 23 は、レーザービーム反射法でスペックルパターンが生じた信号の長時間周波数スペクトルを距離 z を変えながら測定した結果である。この図からわかるように、一次元位置検出器で検出されたスペックル信号は、距離 z が増加すると低周波数帯域に向かって強度が減少する。これは z が増加すると、検出面のスペックルパターンの明暗粒子の平均的大きさが小さくなり、一次元位置検出器の受光面内に含まれる明暗粒子の数が多くなり、結果として空間的に平均化されるためである^(文献 11)。

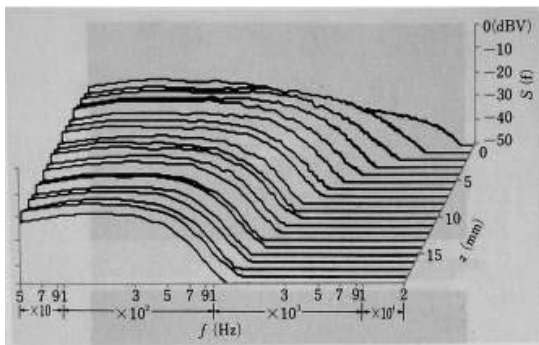


図 23 レーザースペックルの長時間周波数スペクトル

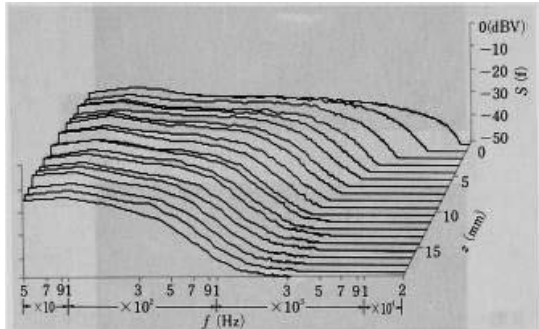


図 24 音声情報が記録されていない蠟管の再生音声の長時間周波数スペクトル

図 23 と比較するため、図 24 に音声情報が記録されていない蠟管からの再生音声信号の長

時間周波数スペクトルを示す。図 23 と図 24 から、白色ペイントを塗布したアルミニウム円筒と蠟管をレーザービーム反射法で音声再生したときに生じる雑音の特性が同質のものであることがわかる。したがって、蠟管再生時に生じる雑音は蠟管表面の微細な凹凸構造から生じるスペックルパターンが原因であることがわかった。ここで距離 z を大きくしたとき再生音声の高周波数成分が欠落するのは、蠟管面の照射ビーム内における音溝面から反射される光ビームの方向の変化が平滑化されるためである。一方、雑音信号の高周波数成分の減少は検出面に配置した一次元位置検出器の受光面内におけるスペックルパターンの明暗粒子が平均されるためである。したがって、両者は全く別の現象である。

図 19 の触針式再生法による結果から、このスペックルパターンから生じる雑音のうち、300Hz 以下の低周波数雑音には音声情報が記録されていないことは明らかなので、この帯域をハイパスフィルターで除去しても再生音声には影響を与えない。一方、高周波数雑音は音声情報と重複しているため、ローパスフィルターで除去することはできない。したがって、距離 z を変えて雑音が少なく、かつ再生音声は自然に聞こえるように照射ビーム直径を調節しなければならない。聴取実験の結果、 $z \geq 3\text{mm}$ (照射ビーム直径になおすと 85 μm 以上) が適当であることがわかった。

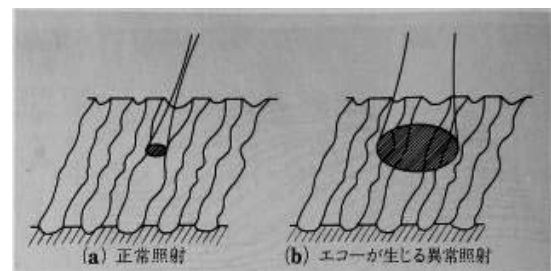


図 25 再生音声にエコーが重畳するときの照射状況

(c) エコー

光学式再生法による再生音声を聴取しながら、対物レンズを光軸に沿って移動させ蠟管上の照射ビーム直径を変えていくと、再生音声とともにエコーが重畳して聴える。これは、図 25 に示すように照射ビーム直径が大きくなると、再生しようとしている音溝とともにそれに隣

接する音溝も照射してしまうためである。このとき、蠟管の1回転分の前後の音溝に記録されている再生音声のエコーとして聞こえる。

図26に、距離 z を変えたときに得られる光学式再生法による音声信号の自己相関関数を示す。図の遅れ時間 $\tau=0$ のピークは、レーザービーム照射点で再生された音声から生じたものである。

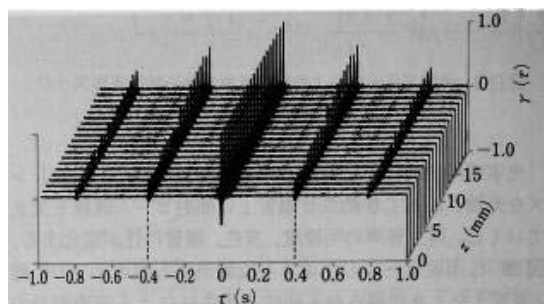


図26 エコーが再生音声に存在するときの自己相関関数

さらに、遅れ時間 $\tau=\pm 0.4$ 秒で生じる2番目のピークはエコー音声信号からのものである。エコー音声の強度は、照射ビーム直径が小さくなるほど減少するため(距離 z が小さい場合)、直径を小さくするとこのエコーは除去できる。図26の結果から、 $z \leq 4\text{mm}$ であればエコー音声信号の強度は主たる再生音声信号の強度の30%以下となり、聴取実験を行っても問題にならないことがわかった。

以上の蠟管の光学式再生法による音声再生で、再生音声の明瞭度とエコーを考慮した場合、照射ビーム直径は小さいほど良好な結果が得られ、雑音を考慮すると大きい方が好ましいという相反する結果が得られた。聴取実験の結果からは、照射ビームのウェスト位置から蠟管面上のレーザービーム照射点までの距離が $3 \leq z \leq 4\text{mm}$ 、スポット直径になおすと $85 \sim 110\mu\text{m}$ が最適であることがわかった。

(d) トラッキングエラー

蠟管の音溝の幅 $254\mu\text{m}$ より細いビーム直径 $85 \sim 110\mu\text{m}$ で照射すると、光学式再生では触針法のように直接に針で音溝をなぞっていないために、蠟管の音溝のうねりや駆動装置の位置誤差のためにトラッキングエラーが生じる。このトラッキングエラーが再生中に起きると、再生音声の音量が極端に減少し、蠟管全体にわた

る安定な再生ができない。

図27に示すように、トラッキングエラーが起きると蠟管からの反射光スポットが検出面上で横ずれが生じる。この横ずれをトラッキングエラー信号として検出し、レンズを移動させることで照射ビームを音声再生したい音溝まで移動させトラッキングを補正する音声再生装置を開発した。

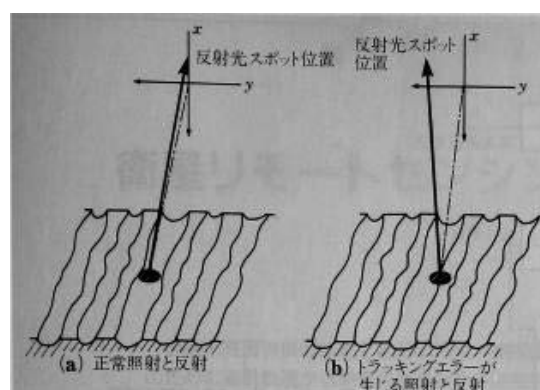


図27 トラッキングエラーが起きているときの照射状況

このトラッキングエラー補正機構付光学式音声再生装置を図28に示す。レーザービームは、対物レンズと駆動装置付レンズを通った後、コーナキューブプリズムを介して蠟管表面に照射される。

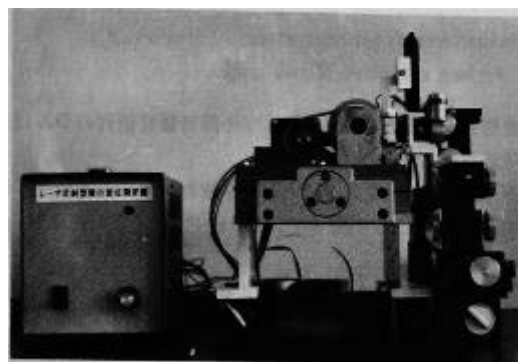


図28 トラッキングエラー補正機構付光学式音声再生装置

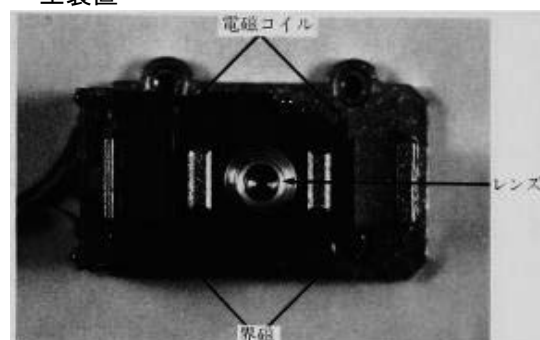


図29 レンズの駆動装置

音溝からの反射ビームは再度コーナークューブプリズムを通して上方に反射され二次元位置検出器(浜松ホトニクス S1300 13×13mm)に入射される。この音声装置において、レンズ駆動装置は図 29 に示すコンパクトディスクプレーヤのレンズ駆動装置を用いた。

図 28 の補正機構付光学式音声再生装置の信号処理回路の概略図を図 30 に示す。

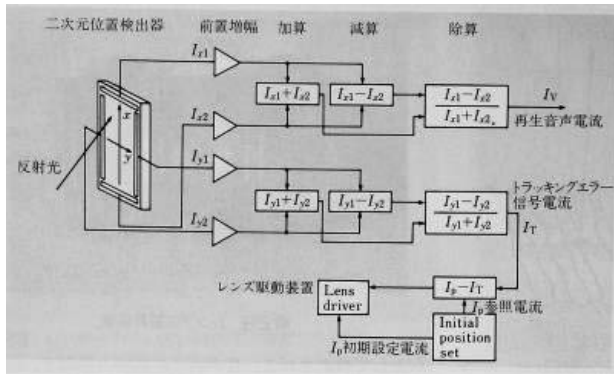


図 30 トラッキング補正回路

二次元位置検出器上で反射光スポットの縦方向の時間的位置変化は音声信号 I_y として検出され、横方向の時間的位置変化はトラッキングエラー信号 I_T として検出される。音声再生の最初の段階で、初期設定電流 I_p をレンズ駆動装置に印加し照射スポットを音溝の中央に合わせる。トラッキングエラーが起きないときには、初期設定電流 I_p とトラッキングエラー信号 I_T とは等しいため $I_p - I_T = 0$ となりレンズは駆動されない。トラッキングエラーが起きると、差電流 $I_p - I_T \neq 0$ で照射ビームを作っているレンズの駆動装置を $I_p - I_T = 0$ となるまで駆動し、照射ビームを振って照射スポットを音溝の中央まで移動させ、トラッキングエラーを補正する。このようなトラッキングエラー補正機構付光学式音声再生装置を用いることで、蠟管からの音声再生がより安定にかつ確実に出来るようになった。

6. むすび

ポーランドから送られてきたピウスツキ録音蠟管レコード資料がきっかけとなり、古蠟管レコードからの音声再生に関する工学的研究が行われてきた。その成果を、録音した人物像や録音蠟管の意義と合わせて、蠟管レコードの

物理化学特性、保存状態と修復、レプリカ作製について述べるとともに、録音蠟管からの音声信号検出法について重点を置いて解説した。音声再生法としては、加速度センサーを利用した触針法と非接触型のレーザービームを利用した光学的音声再生法が実用性が高いと考えられる。両者を比較すると、光学的再生法は傷があつたり破損している蠟管でも音声再生ができる利点があるが、トラッキング制御の問題や触針法に比べて音質がやや低下するという欠点がある。

本報告で述べなかった問題に、再生音声における雑音軽減処理がある(文献 12)。一般に多くの蠟管は、保存状態の悪さと録音技術の未熟さから蠟管表面の状態が悪く、かつ録音された音溝が極めて浅い。したがって、ここで紹介した音声再生法だけでは、音声の明瞭性が悪く、再生音声に対して雑音軽減処理が不可欠となる。雑音としては、傷に相当するスパイク状のものと白色変質物に相当するランダム状のものに大きく分かれる。これらの雑音の除去として、スパイク状のものは時間波形上で、ランダム状のものは周波数領域上で処理する方式が有効と考えられる。いずれにせよ、雑音の性質と合わせて音声信号の性質をも考慮して、最適な雑音軽減法の研究が必要である。歴史的には蠟管レコードは短期間で消えてしまったが、短期間でも数百万本以上生産されていることから、多数が現在まで残っていると推定されている。その多くは音楽が録音されたものと考えられているが、ピウスツキ、北里、加計のように個人的に録音した蠟管のなかに、言語学や民族学の貴重な資料や当時の著名な人々の肉声が残されている可能性があり大変興味深い。特に、ピウスツキ蠟管と同様に、滅びつつある少数民族の音声言語や民族音楽などが録音された蠟管は、ヨーロッパ、旧ソ連、アメリカなど各地に散在しており、再生と解説が待たれている。したがって、音声再生技術の確立は、貴重な文化遺産である未再生の蠟管からの情報入手の可能性を開くことになり、人類の財産である音声による精神文化をよみがえらせることになる。これらの仕事は、現代の科学技術を研究する者に課せられた責務であり、それはまた歴史が私達に

残したロマンへの挑戦でもある。

本報告を世界的観点に立脚して眺めてみると、触針法による蠟管からの音声再生と再生音声の改良に関する研究は世界の中の数カ所の博物館などで行われているものの、録音蠟管からの音声再生を組織的に、かつ非接触法による音声再生の研究を行っているところは見当たらない^(文献 13、14)。それだけに、この分野における一層の研究が期待される。

本報告の中の音声再生に関する研究は伊福部達教授(北大電子科学研究所)、岩井俊昭助教

授(現在、静岡大学工学部)、川嶋稔夫講師(北大工学部)に負うところが大きく、これらの諸氏に厚く御礼を申し上げる次第である。さらに、本報告の大部分は国立民族学博物館を中心とする国際研究組織 ICRAP (International Committee for Restoration and Assessment of Piłsudski's Life and Work)^(文献 2)の中の重要研究推進課題として取り上げられてきたもので、その組織の諸氏からの激励に対して深く感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 朝倉利光, 伊福部達編: ピウスツキ録音蠟管研究の歩み(北海道大学応用電気研究所, 1986)
- 2) 加藤九詒, 小谷凱宣編: 国立民族学博物館研究報告別冊 5 号“ピウスツキ資料と北方諸民族文化の研究”(国立民族学博物館, 1987)
- 3) 先川信一郎: ロウ管の歌——ある樺太流刑者の足跡(北海道新聞社, 1987)
- 4) H.Jüttemann: *Phonographen und Grammophone* (Klinkhardt & Biermann, Braunschweig, 1979)
- 5) R.ジェラット(石坂範一郎 訳): レコードの歴史——エジソンからビートルズまで(音楽之友社, 1981)
- 6) G.L.Frow and A.F.Sefl: *The Edison Cylinder Phonographs 1877–1929* (Kent England, Great Britain, 1978)
- 7) T.Ifukube, T.Kawashima and T.Asakura: J. Acoust. Soc. Am. 85, 1759 (1989)
- 8) T.Iwai, T.Asakura, T.Ifukube and T.Kawashima: Appl. Opt. 25, 597 (1986)
- 9) T.Asakura and N.Takai: Appl. Phys. 25, 179 (1981)
- 10) N.Takai, T.Iwai and T.Asakura: Appl. Phys. B26, 185 (1981)
- 11) T.Iwai, N.Takai and T.Asakura: Optica Acta 28, 1425 (1981)
- 12) 伊福部達: 電子情報通信学会誌 70, 407 (1987)
- 13) *Proc. Int. Symp. B. Piłsudski's Phonographic Records and the Ainu Culture* (Hokkaido University, 1985)
- 14) *A Joint Technical Symposium: Archiving the Audio-Visual Heritage* (Stiftung Deutsche Kinemathek, Berlin, 1987)

(1992 年 4 月 13 日 受理)

* 朝倉利光「古蠟管レコード資料からの音声再生」『応用物理』61-6: 556-568(1992)を、著者の許可を得て転載した。その際、誤記・誤植を正すとともに、段落をさらに細かく区切った場合がある。

* Author & title: T.Asakura, “Reproduction of the Sounds from Old Wax Phonograph Cylinders.”