

|             |  |
|-------------|--|
| 氏 名         | 伊 藤 憲 三  |
| 授 与 学 位     | 博 士 ( 工 学 )  |
| 学位授与年月日     | 平成 7 年 2 月 8 日   |
| 学位授与の根拠法規   | 学位規則第 4 条第 2 項   |
| 最 終 学 歴     | 昭 和 46 年 3 月<br>電気通信大学短期大学部通信専攻科卒業                     |
| 学 位 論 文 題 目 | デジタル音声処理における雑音と遅延の影響の分析と<br>その客観評価法に関する研究              |
| 論 文 審 査 委 員 | 東北大学教授 高木 相 東北大学教授 曾根 敏夫<br>東北大学教授 白鳥 則郎 東北大学助教授 牧野 正三 |

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

現在、電気通信網はアナログからデジタルへと急速に変貌しようとしている。その中で、電話通話において重要な役割を担うデジタル音声処理技術の分野では、LSI 技術の進歩とあいまって、実際の電話網への導入を考慮した実用化の研究が活発になっている。本論文では、デジタル音声処理で最も基本的でかつ重要な品質支配要因である、処理雑音（量子化雑音）と処理遅延（伝搬遅延）の 2 要因に対し、処理品質の特徴の分析とその客観評価法に関する研究を行った。従来、量子化雑音の音声品質に及ぼす影響の分析は各方式で個別に行われており、その客観評価法に関する研究は系統的に行われていなかった。また、伝搬遅延の通話品質に及ぼす影響は、急ぎの程度や会話様式に大きく依存することが指摘されていたにもかかわらずその考慮がなく、客観評価法に至っては未着手の研究分野であった。本論文では、上記 2 要因の影響を詳細に分析するとともに、主観評価値に良く一致する実用的な客観評価法を提案した。

### 第 2 章 電気通信網における通話品質とその評価法

本章では、本研究を進めていくうえで基本となる、電気通信網における通話品質とその評価法およびデジタル音声処理の概略を述べて本論文の導入部とした。すなわち、種々の電気通信技術を効率的にしかも安定に社会へ供給するには「通信系の性能評価」が重要であることを述べた。また、主な主観評価法である、明瞭度試験法、オピニオン試験法および対比較試験法をくわしく述べるとともに、現在提案されている通話品質の客観評価法の現状を述べた。さらに、デジタル音声処理

方式を波形処理方式と分析合成方式に分け、それぞれの代表的な方式の処理概要について述べた。最後に、デジタル音声処理で生じる雑音には、基本的な雑音である量子化雑音と、時間的な要因である伝搬遅延の問題があることを述べ、本研究の背景、目的および具体的な検討項目について従来研究と比較して述べた。

### 第3章 通話品質における処理雑音（量子化雑音）の影響の分析

本章では、まず、現在提案されているデジタル音声処理方式の中から分析合成方式を含む代表的な10方式をとりあげ、明瞭性と総合的満足性の観点から、各方式の品質面からの全体的な位置づけを明らかにした。その結果、16kb/sのAPC-AB方式は、64kb/sの対数圧伸PCM ( $\mu$ PCM)と同等の明瞭性があり、この時の情報圧縮率は約1/4となることなどを明らかにした。つぎに、デジタル電話網で基本となる $\mu$ PCM方式の検討結果から、信号対回線雑音比が20dB以上の条件では、量子化雑音と回線雑音とは相加して品質に影響を与え、符号化器の信号入力レベルが十分大きければ、8ビットでは9~14リンク、7ビットでは3~4リンクまで接続しても、電話利用者の90%以上が「まあ良い」以上と判定することなどを明らかにした。また、ADM方式の品質に関し、情報伝送速度を64kb/sから16kb/sの範囲で変化してその影響を詳細に調べた結果、32kb/sまで低下しても明瞭度に及ぼす影響は僅かであり、適切な信号入力レベルの条件では「まあ良い」以上の満足度が得られることなどを明らかにした。本章の最後では、PARCOR方式における駆動音源信号が合成音品質に及ぼす影響について検討をくわえた。その結果、無声音成分の明瞭度に及ぼす影響は僅かであるが、有声音源の周期の時間変動特性は合成音声の明瞭度に大きな影響を与え、基本周期を固定することによって明瞭度が大幅に劣化することなどを明らかにした。また、PARCOR方式における符号誤りの弁別限は、音声信号1秒当たりの誤り回数で換算すると約2回であり、これは、 $\mu$ PCM方式の場合とほぼ同等の値であることを明らかにした。

### 第4章 処理雑音（量子化雑音）の影響の客観評価法

本章では、3章で述べたようなデジタル音声処理方式で得られた音声品質を主観的に評価するだけでなく、広い範囲にわたり適用可能な客観評価法について検討した。本章の前半の客観評価法尺度に関する検討から、符号誤りと極端な過負荷歪の条件を除けば、スペクトル包絡歪をあらわすLPCケプストラム距離尺度(CD)を用いることで、標準偏差0.33で主観評価値(MOS)を予測できることを明らかにした。図1は、異なる3時期にわたって行った主観評価結果とCDとの対応関係を示したものである。この図から、両者の対応が非常に良好であることが分かる。また、一次の自己相関係数と残差信号の自己相関係数の最大値を用いることによって、量子化雑音の性質を客観的に記述できることを明らかにした。本章の後半では、客観評価に用いるテスト信号に関する検討をくわえた。その結果、安定した客観評価値を得るためには、10名程度の発声した4~5秒長以上の音声試料を用いることが必要であり、発声者の選択には正規化残差の値が指針となることを示した。また、ベクトル量子化と音声合成技術を用いた新しい擬似音声信号を提案し、従来法による擬似音声信号よりも客観評価用のテスト信号として非常に有用であることを明らかにした。

## 第5章 通話品質における処理遅延（伝搬遅延）の影響の分析

本章では、デジタル音声処理で生じる処理遅延（伝搬遅延）の通話品質に及ぼす影響を、種々の主観評価実験により分析した。まず、遅延知覚の基本特性を調べる実験、およびモデル会話と純音のテンポ知覚の実験から、遅延要素の存在を検知する能力は発声速度や発声時間長によって異なり、ゆっくり話すほど、また発声時間長が長くなるほど低下することを明らかにした。また、双方向の電話通話系を用いた主観評価実験から、遅延時間の知覚限界は会話様式や被験者層によって大きく異なり、その値は、90ms～1120ms（往復遅延時間）の広範囲におよぶことを明らかにした。さらに、往復200msの遅延を有するデジタル処理方式を、衛星回線（1ホップ）へ適用した場合（合計遅延時間：約700ms）の電話通話では、一般の自由会話で8人に1人、照会会話では3～5人に1人の割合で許容できないと判定することなどを明らかにした。

## 第6章 処理遅延（伝搬遅延）の影響の客観評価法

本章では、5章で検討した遅延の影響を、客観的に評価することのできる客観評価法に関する検討を行った。ここでは、遅延の通話品質に大きく影響を及ぼす因子は、会話のやりとりに関する特徴であることに着目し、まず、会話音声の時間的特徴量の分析を行った。その結果、発声区間長の平均値（Tp）とその標準偏差（Tps）および単位時間当りのやりとりの頻度（Rn）は、主観評価値と良い対応を示し、このTp、TpsおよびRnを基本とした客観尺度を構成することによって、一般の電話通話系に遅延が挿入された場合の通話品質の劣化を精度よく推定できることを明らかにした。つぎに、遅延の影響は会話の進捗にも大きく影響を及ぼすことから、会話効率に関する客観評価法の検討を行った。ここでは、会話の衝突とやりとりの頻度を考慮した会話効率評価モデルを新たに提案し、一般の電話通話における会話効率の低下を推定した。その結果、往復500msの遅延による会話効率の低下は約14%になることが分かった。

## 第7章 結 論

本章では、本研究の内容を総括し、残された今後の検討課題について述べた。

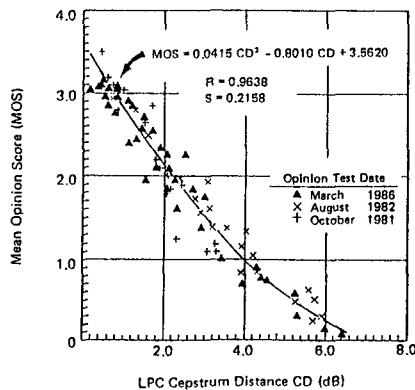


図1 LPCケプストラム距離尺度（CD）と主観評価値（MOS）との対応関係

## 審査結果の要旨

電気通信網のデジタル化にともない、通話品質の基本的な劣化要因である量子化雑音と遅延の影響の分析と客観評価法の確立が重要な研究課題となっている。著者は、量子化雑音と遅延の主観的影響を分析し、それに基づいて主観評価値を精度良く推定する客観評価法を提案し、デジタル音声処理方式の性能評価法の基盤を構築した。本論文はその成果をまとめたものであり、全編7章よりなる。

第1章は序論で、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、本論文の基本的な背景である通話品質の評価法とデジタル音声処理方式の概要を述べている。

第3章では、現在提案されている代表的なデジタル音声処理方式10方式をとりあげ、明瞭性と総合的満足性の観点から主観的評価を行い、各方式についてビットレートと品質の関係を明らかにした。この結果は各方式の実用化において貴重な基礎資料と評価できる。

第4章では、主観評価値を精度良く推定できる、スペクトル包絡歪を基にした客観評価法を提案している。また客観評価に用いるテスト信号として、ベクトル量子化と音声合成技術を応用した擬似音声信号を提案している。これらの提案は新しい方式の開発や評価にきわめて有用である。

第5章では、伝送路における遅延が通話品質に及ぼす影響を種々の主観評価実験を用いて検討し、遅延時間の許容限界および遅延の会話効率に与える影響を明らかにしている。

第6章では、遅延の影響の客観評価法として、発声区間長の平均値とその標準偏差、単位時間当りの対話の頻度からなる尺度を提案し、これによって主観評価値が精度良く推定できることを示している。このような遅延の影響に対する客観評価法の提案は初めてのものであり、高く評価できる。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、デジタル音声処理における通話品質の劣化要因である量子化雑音と遅延の影響を分析すると共に、主観評価値を精度良く推定する客観評価法を提案したものであり、通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。