船舶の主機械及び係船機のボイス コントロールシステム*

外 岡 幸 吉**

Voice Control Systems for Main Engine and Mooring Winches

By Koukichi Sotooka

It can be said that the technology of voice synthesis and voice recognition in land use has now entered its first stage of practical use.

As an experimental trial aiming at man-power saving, the voice control systems, capable of recognizing the registered voices of different speakers, are being developed for main engine and mooring winches.

In this report, outlines of the voice control systems are introduced.

1. ま え が き

コンピュータのハード技術及びソフト技術は、急速に進歩改善され、船舶の自動化機器へも既に数多くのマイクロコンピュータが応用されている。また、第5世代のコンピュータの開発により、推論システム、知識ベースシステム等を応用した知能化された超自動化装置及びシステムが船舶に採用される日もそれ程遠い将来ではないように思える。

現在の Man-Machine Communication の方法としては、間接的な方法が一般的であるが、直接的方法として現在脚光をあびつつあるのが音声でコンピュータと対話ができる音声情報処理技術である。陸上においては、音声合成技術は、音声認識技術に先がけ、電子レンジ、自動販売機、自動車等民生品にも広範囲に実用化され、音声認識技術は、物流システム、品質管理システム、知能化ロボット等に応用され始めている。

一般に、船舶をオペレーションする場合は、船舶の生立ちから人と物に対する責任体制、要求される高度な判断力あるいは広範囲な作業エリア等の点から、“船舶のオペレーションを指令する最高責任者”→“高度な判断力を有し、指令を実行する指揮者”→“指揮どおりの作業を行う操作員”という経路で一連の作業を遂行することが習慣になっている。また、操船、主機械の操縦、荷役等の作業は、通常、3直交替体制を採用しているのが普通である。このような状況にある船舶では、指令者の命令のみによって、直接、該当機器を自動的に制御することができれば、省力化の効果は非常に大きいものが期

待される。

このような背景のもとに、音声認識技術及び音声合成技術を応用し、アリババの「開けゴマ」というように、人間の音声命令のみにより、直接、船舶の主機械及び係船機を制御する「ボイスコントロール・システム」を住友重機工業(株)において開発した。主機械用ボイスコントロール・システムは、2隻に実際に装備しており、係船機用ボイスコントロール・システムは、現在、実船実験中である。

以下、これらのシステムの概要を主体として、一般論等についても記述する。

2. 音声認識装置の概要

2.1 音声認識方式の分類 音声認識方式に関する分類方法としては、種々あるが、音声を入力する話者の制限や、音声の入力語の形態、音声の入力の方法等によって以下の如く分類することができる。

2.1.1 話者の制限による分類

1) 特定話者音声認識方式 話す人が、あらかじめ自分の声を登録して照合パターンを作成しておき、その後、入力音声と照合パターンとを比較して認識する方式。

2) 不特定話者音声認識方式 事前に話す人の声を登録しないで、話す人の声質のバラエティに対応するために各単語ごとに多くの音声サンプルを収集し、これを分析して標準照合パターンを多数用意し、不特定多数の音声入力を認識する方式。

2.1.2 入力語の形態による分類

1) 単語形音声入力 単語単位で入力する方式。あらかじめ覚えさせておいた限られた単語しか入力できない

* 原稿受付 昭和60年5月15日

** 正会員 住友重機工業(株)(横須賀市夏島町19)

い。

2) 単音形入力 ア, イ, ウ, エ, オ, カ, キ, …のように, 1 母音または 1 子音と母音の単音に区切って入力する方式. はっきり発音すれば, どんな言葉でも無限に入力でき応用範囲が広い。

2.1.3 入力方法による分類

1) 離散形音声入力 構文入力の場合, 1 語 1 語区切り, 数字の場合は, 1 桁ずつ入力し, その認識結果が出てから次の入力を行う方式

2) 連続形音声入力 構文入力の場合も, 数字入力の場合も連続に入力する方式。

2.2 音声認識技術の現状 音声認識技術は, 20 年程前から研究開発がなされてきており, 集積回路技術, 情報記憶技術, 演算技術等の進歩と共に, ここ数年で急速な進展がみられたものである。音声認識の理想的な姿は, 誰が, 何を, 何時, どのように喋っても的確に判断するという形, すなわち, 通常の人間の話し言葉を正しく理解する形態であるとする。このような夢の技術を実用化するためには, コンピュータ及びその周辺技術とも密接な関係があり「第 5 世代のコンピュータ」の研究開発の成果が期待される。その意味では, 現状の音声認識技術は実用機として, その緒についたばかりと言える。

しかしながら, 話者を特定したり, 入力の形態を制限することにより, 産業分野においては, 省力化, 操作の簡易化, 入力精度の向上, 生産性向上等の効果を目的としてかなり実用化され始めている。表 1 に, 入力する話

表 1 音声認識技術の分類と現状の技術レベル

入力形態 話者	離散形音声入力		連続形 音声入力
	単 語 形	単 音 形	単語 / 文章
特 定 話 者	ほぼ実用化	実用化の 初期段階	研究中 (一部実用化)
不特定話者	一部実用化 (コスト高)	研究中 (一部実用化)	未来テーマ

者の制限, 入力語の形態, 入力方法等の分類ごとに, 音声認識技術の現状の技術レベルの傾向を示す。

2.3 音声認識装置の動作原理 主機械及び係船機のボイスコントロール・システムとして使用した音声認識装置は, 単語・離散形・特定話者音声認識方式であるが, この音声認識の動作原理を図 1 に基づいて説明する。

2.3.1 音声入力と前処理 入力音声はマイクロホンによって収集され, アンプによって適当なレベルまで音声増幅される。適当なレベルになった音声信号は, スペクトラム分析器に供給される。このスペクトラム分析器に入力された音声信号は標準的な情報量の分布に従って分割された 16 チャンネルの帯域フィルターによりスペクトラム分析される。各帯域フィルターの出力は, 帯域内の信号レベルを検出するため整流された低域フィルターを通して平滑され, 次段のアナログ多重処理 /A/D コンバータに供給されデジタル信号に変換される。これらの情報は, 5m・sec ごとにサンプリングされ, 同様の処理が行われる。

2.3.2 音声信号のデジタル処理 デジタル化した音声信号は, コード化圧縮器によりデータの圧縮作業が行われる。ワード検出器により各発声の開始と終了を検出し, 入力語長に関係なく一定のパターンに符号化圧縮される。

2.3.3 照合パターンの作成 人が言葉を話す場合, 毎回きまった言い方が行われるとは限らず自然な変化がある。この変化の形を記憶するため, 音声入力者に 3 回繰返し発声させて, パターン集約器によって照合パターンを形成させる。照合パターンは, その単語を代表する表現として照合パターンメモリに記憶される。

2.3.4 入力音声の類別 認識モードでは, 入力された音声信号は各用語ごとに照合パターンメモリと相関関係がビット計算され, 不一致度を表わすスコアが与えられる。各用語に対する照合パターン作成時の平均不一致度のスコアが, あらかじめ計算されており, さらに,

図 1 音声認識ユニットブロック図

各用語ごとに不一致度マージンスコアが加算され、これがリジェクトレベルとなる。照合パターンと入力音声との不一致度のスコアがこのリジェクトレベル以内の場合は、その入力是有効と判断され、もしこのリジェクトレベルを超過する場合は、不一致度が大き過ぎるということでリジェクトされ、信号は出力されない。

3. 主機械のボイスコントロール・システム

3.1 概要 前述の如く、船舶をオペレーションする場合、最高責任者→指揮者→操作員という経路で一連の作業を遂行する習慣となっていることが多い。本システムはこのような船舶のオペレーションの主要部である主機械操縦装置用に特定話者音声認識装置を応用して、指令者の音声のみにより主機械を制御するものである。すなわち、操船指令者が音声指令することにより、エンジンテレグラフ操作員及び主機械操縦員もなしに、直接、音声信号が主機械制御信号に変換され、主機械の正転、逆転、変速等の制御が自動的に行えるようにし、操作の迅速化及び省力化の効果を期待したものである。

3.2 システムの構成 本システムの構成は、次のとおりである(図2参照)。

音声認識ユニット	1
音声合成器	1
外部表示器	1
小形磁気ディスクメモリ	1
CPU	1
コンソールパネル	1
出力インターフェース	1
固定無線局	1
携帯用無線機(マイク、レシーバ付)	1
拡声装置アンプ	1
応答用スピーカ	1

操舵室エンジンコンソール	1
(エンジンテレグラフハンドル駆動用 アクチュエータ付)	
主機リモコンプログラムシーケンス盤	1
主機械(15,600 PS, 120 rpm)	1

3.3 システムの主要機器の仕様 本システムの主要機器の仕様は、次のとおりである。

1) 音声認識装置

認識形態	単語形離散方式 特定話者音声認識
認識方式	非線形パターン DP マッチング方式
認識語数	80 語
語句の長さ	0.1~1.3 秒
語句入力間隔	0.1~0.25 秒
認識率	99.8%(100 語 5 回繰返し)
外部出力	RS-232C
電 源	AC 100V

2) 音声合成器

合成方式	PARCOR方式
周波数	男性; 100Hz~2 kHz 女性; 150Hz~4 kHz
電 源	DC 5V

3) 外部表示器

形 式	プラズマディスプレイ
文 字	16 文字×1 行
文字種類	128 種
表示部寸法	102 mm×175 mm

4) 小形磁気ディスク

容 量	8 k バイト
記録方式	FM方式
ディスク寸法	67 mm×67.8 mm×1.5 mm
使用可能回数	2000 回以上

図2 ボイスコントロール・システム図

図3 ボイスコントロールユニット

5) 制御用マイクロコンピュータ

CPU	8ビット
PROM	3kバイト

6) 固定無線局

電 源	AC 100V
電波形式	F 3
受信周波数	140.35 MHz
送信周波数	117.395 MHz
出 力	0.02 W
空中線	75Ω

7) 携帯用無線機

使用範囲	30 m 以内
電 池	充電式 Ni-Cd 2.4V (連続 4 時間使用可能)
電波形式	F 3
受信周波数	117.395 MHz
送信周波数	140.35 MHz
マイクロホン	咽喉マイク 接話マイク

3.4 制御内容及び操作方法

3.4.1 制御内容 特定話者音声認識装置において認識率を高めるということは、あらかじめ登録し、作成した照合パターンと入力音声との一致度を高めることであるので、そのシステムの全入力語が相互に類似せず、明確に区別できるようなものを選定することが、最も重要なものの一つである。本システムの主機械の操縦用語については、

FULL AHEAD
HALF AHEAD
SLOW AHEAD

DEADSLow AHEAD
STOP ENGINE
DEADSLow ASTERN
SLOW ASTERN
HALF ASTERN
FULL ASTERN

の9語が、JISにも規定されており、また、国際的にも主機械の操縦用語として通用するものであるので、あらためて認識しやすい用語を選択することはせず、これをそのまま採用することにし、シンタックス、認識ロジック等に種々の改良を加え、認識しやすいものとした。また、これら9語のほかに、確認の用語として“OK”及び命令あるいは誤認識等の取消しの用語として“CANCEL”の2語を追加し、全入力語を11語とした。

入力語の一つである“FULL AHEAD”について、入力音声スペクトルの3次元表示を、同一人の場合と異なる人の場合の具体的例を図4、5に示す。同一人の場合でも毎回全く同じの音声スペクトルになるとは限らず、3回の入力を比較すると若干の相異が見られ、異なる人の音声スペクトルには、それぞれ、相当な相異があることがわかる。

主機械の制御は上記11語によって行われる。すなわ

図4 同一人の音声スペクトル3次元表示

図5 異なる人の音声スペクトル3次元表示

ち、上記入力語に基づき、主機械の前進の4変速及び後進の4変速について、該当速力を音声指令することにより、自動的にシーケンシャルスタート及びプログラムによる増減速を行うことができる。また、主機械の通常の音声による停止の他に、バックアップとして、非常停止も可能とし、安全性の向上をはかっている。

3.4.2 操作方法 操作を始める前に、あらかじめ命令語を指令者の音声で入力しておき、特定話者音声認識装置に、その指令者用の照合パターンとして登録する。

その後、命令語として登録してあるものを指令者が音声により命令するとその内容を音声認識装置が認識し、認識された内容を音声合成装置により復唱する。

その内容が命令と一致していれば、正しいことを指令者が音声で確認を与える。

確認音声を再度音声認識装置が認識した後、音声合成装置により応答すると同時に、命令内容の作動信号を出し、主機械は指令者の音声命令のみで所定の操作が自動的に行われる。

このような、命令→復唱→確認→応答の経路をとったのは誤認識による誤動作を避けるためである。

指令者が代る場合は、あらかじめ、新指令者が命令語を入力し、その指令者用の照合パターンを登録してから上記と同様の操作を行う。なお、指令者が代る度ごとに、命令語を入力し、照合パターンを作成するのは煩雑となるので、それぞれの指令者の音声を、あらかじめ入力して照合パターンを小形磁気ディスクにメモリしておき交替する際に、この小形磁気ディスクを挿替える方法もとれるようになっている。

図6 操舵室エンジンコンソール

3.5 特徴 主機械のボイスコントロール・システムの特徴は、次のとおりである。

- 1) 指令者の音声命令だけで、主機械の起動、停止、増速、減速が可能である。
- 2) あらかじめ指令者の声質を登録してあるので指令者以外の人の命令では作動しない。
- 3) 命令→復唱→確認→動作等の誤動作対策を施してある。
- 4) 指令者の音声命令のみで、主機械が操縦できるので、命令を伝える人、主機械を操作する人は他の仕事を行うことができる。
- 5) 両手が自由に使える、外を見ながら、また、歩きながら、遠く離れても(30m程度まで)主機械の操縦ができる。
- 6) オートマチックノイズサンプリングの機能をもたせ、ノイズを自動的に除去しているので、高ノイズの環

境でも使用可能である。

4. 係船機のボイスコントロール・システム

4.1 概要 本システムは、上甲板後部に装備している電動油圧式係船機3台をコントロールの対象とし、3台の係船機を統括する航海士が指令用携帯形無線を用いて、音声により作業を行うべき係船機を指定し、次にドラムあるいはワーピングエンドの指定をした後、正転、逆転、停止、寸動あるいは速度制御等の動作を命令することによって、クラッチの着脱、ブレーキの入切等は、あらかじめ組まれたシーケンスにより、自動的に所定の選択を行い、命令どおりの動作を実行するようにしたも

図7 ボイスコントロールを行った係船機の配置

のである。

一般の船舶で最も配員の多い係船作業時に、係船機の操作を、特定話者音声認識装置を応用し、ボイスコントロール化することによって、航海士がホーサを処理しながらでも、音声による指令のみで直接係船機を操作できるようにし、専任の係船機操作員を配員しなくても、係船作業が正常に行われることを目標として、開発したものである。

4.2 システムの構成 本システムの構成は、次のとおりである(図7参照)。

音声認識ユニット	1
音声合成器	1
外部表示器	1
小形磁気ディスクメモリ	1
制御用マイクロコンピュータ	1
出力インターフェース	1
入力インターフェース	1
固定無線局	1
携帯形無線機(マイク、レシーバ付)	1
拡声装置アンプ	1
応答用スピーカ	2
インターフェースパネル	1
係船機(20 t × 15 m/min)	3台

4.3 システムの主要機器の仕様 本システムの主要機器は、前述の主機械のボイスコントロール・システムの主要機器と同じである(3.3参照)。

4.4 制御内容及び操作方法

4.4.1 制御内容 音声確認装置において認識率を高める最も重要なものの一つである入力語の決定に当

図8 ボイスコントロールによる係船システム全体構成図

ては、実験船の姉妹船の係船作業の実態調査及び乗組員に対するアンケート調査、造船所の海務関係者からの係船作業内容の実情聴取等を基に、係船作業のすべての動作に対し、使用用語を複数個、重複選定した。その用語それぞれに対し、長期にわたり、入力方法、入力者を変えるなどして、認識率を計測し、その結果に基づき認識率の低い用語は捨て、認識率の高い用語のみを選出し、指令用語を決定した。その用語によって、制御される内容は、表2のとおりである。

表2 ボイスコントロールにて制御される内容

係船機	ドラム	制御動作
9番係船機	左舷ドラム	正転及び逆転
10番係船機	右舷ドラム 両ドラム	速度制御(低, 中, 高速) 寸動(巻込み, 繰出し)
11番係船機	ワーピングエンド	ブレーキ入, 切 クラッチ着脱

4.4.2 操作方法 操作を始める前にあらかじめ指令用語を指令者の音声で入力して照合パターンを登録しておく。

その後、指令用語として登録してある係船機、ドラムの識別、動作等を指令者が音声により命令すると、その内容を音声認識装置が認識し、認識した内容を音声合成装置により復唱する。その内容が一致していれば、正しいことを指令者が音声で確認を与え、その後、命令内容の作動信号を出し、指令者の音声命令のみで、使用係船機、ドラムあるいはワーピングエンドが選択され、所定のブレーキの入・切、クラッチの着・脱及び巻込あるいは繰出速度の設定がシーケンシャルに、自動的に行われる。

指令者が代る場合は、あらかじめ、新指令者の照合パターンを登録してから上記と同様な操作を行う。

4.5 特徴 本係船機のボイスコントロール・システムの特徴は、次のとおりである。

1) 指令者は、ホーサを処理しながらでも、索の張り方や岸壁の状況を監視しながらでも、係船機作動の音声指令を発令できる。

2) 指令者の音声指令のみで、3台の係船機が動作できるので、専任の係船機操作員を配員しなくてもよい。

3) 使用する係船機、使用するドラムあるいはワーピングエンド等への要求動作を音声指令するのみで、クラッチの着・脱、ブレーキの入・切、高低速の切替、巻込あるいは繰出の選択等が、自動的にシーケンスコントロールされるので、迅速に間違いなく要求動作が実行される。

4) 音声入力あるいは音声認識に問題が発生した時には、非常スイッチにより一斉停止ができる。

5) あらかじめ指令者の声を登録して照合パターンを作成してあるので、他の人の命令では作動しない。

6) オートマチックノイズサンプリングの機能をもたせノイズを自動的に除去しているので、高圧油圧ウイン

チの作動中の高ノイズ環境でも使用可能である。

5. その他の装置への応用

ボイスコントロール・システムの船舶への応用として、主機械及び係船機については、実例の概要を紹介したがその他の装置への応用として、有効性が予想されるものとして、次の如きものが考えられる。

1) 操舵装置への応用 操舵装置のボイスコントロールは、既に実施しているところもあるが、出入港時等に、主機械の操縦と同時に行うことにより、さらに、省力化の効果は向上するものと考えられる。

2) 機械類の保守点検への応用 保守点検時、歩きながらあるいは操作しながら不良箇所を発見した場合、音声で入力する。油のついた手袋をはめたままでも、良否を音声で入力可能である。記録装置と連動させ、帳票を同時に作成する。

3) 予備品(倉庫)等の在庫管理への応用 倉庫内の在庫あるいは不足をチェックしながら音声入力する。材料や製品の出入庫のデータも記録装置と連動させる。

4) 燃料油の取入れ作業への応用 各燃料油タンクの計量の結果を音声入力し、バルブの制御を行う。

5) 天井走行クレーン等の操作への応用 作業を行いながら、任意にクレーンを音声で制御する。

6) 各種書類の作成への応用 記録装置と連動させて、音声入力により書類を作成する。

6. あとがき

船舶におけるボイスコントロールの応用について、主として、主機械のボイスコントロール・システム及び係船機のボイスコントロール・システムの実例について述べ、さらに、その他の装置への応用として、有効性が予想されるものについて、簡単な列挙を行った。

Man-Machine Communicationの直接的な手段として、新しい試みの一つとして音声を用い、省力化の効果を期待し、主機械及び係船機のボイスコントロールを実施したものであるが、この二つのシステムの実船の使用状態をふまえて、さらに、その他の装置への応用についても、使用用語、シンタックス、認識ロジック等の検討を今後も続けていきたいと考えている。

現段階において、船舶におけるボイスコントロールの応用については、音声認識装置のハード及びソフト等の純技術的問題並びに使用する際の照合パターンの作成及び良質な入力音声等に関する問題があり、これらを総合的に解決して、高認識率を安定化させ、高信頼度なものとするのが最重要課題であろう。

主機械のボイスコントロール・システムは、第一中央汽船(株)殿の紀ノ川丸及び筑波丸に実船装備したものであり、係船機のボイスコントロール・システムは、日本造船振興財団の技術開発基金の補助金を受け、日本造船研究協会内に特別委員会を設置して推進したものである。

最後に、これらの実施にあたり、積極的にご指導、ご協力を頂いた、特別委員各位と、第一中央汽船(株)、(株)蒼電舎、(株)京三製作所の関係者各位に対し、厚く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 日本工業技術センタ, 音声認識・合成応用技術資料
 - 2) 加地・外岡, 近畿海運局造船関係事業経営者技術講習資料
 - 3) 外岡, 造船技術, ('83-9)
-