

学 位 論 文 題 名

揚網綱機の緊急停止を考慮した
突発的非常時音声の識別に関する研究

学位論文内容の要旨

多発する沿岸小型漁船での揚網綱機の巻き込まれ事故に対して、これを防止する有効な安全対策が強く要望されている。しかしながら、現在使用されている揚網綱機の基本的構造と使用方法を考慮すれば、機械作動部に安全用カバーなどを設置するフル・プールのな処置が困難であり、必然的にフェール・セーフ機能を重視した安全対策を講じざるを得ない状況にある。このフェール・セーフを実現する緊急停止装置として、現在までに、音声による２種類の機器システムが製品化されている。

一つは、音声の音圧の閾値を用いて緊急停止させる装置、他の一つは、音声認識技術を用いて「とまれ」の命令語を言語情報として認識して停止させるものである。しかし、前者は漁船に数台搭載されたものの、甲板上で生じる大きな打撃音などとの分別ができず、誤動作が頻発することから普及には至らなかった。また、後者は高価であることや、咽喉マイクロフォンを用いることによる漁労作業の障害、および無線方式であることによる他船との混信などがあり、前機と同様に普及には至っていない。

さらに、音声認識を用いた停止装置開発に関する根本的課題として、操作者が突発的事故状況に直面した場合、通常の停止命令語である「とまれ」を明瞭かつ瞬時に発声できず、咄嗟に他の「あっ」とか「あー」などの音声をしてしまう状況が考慮されていない。既存の音声認識シ

システムのフェール・セーフ機能には、このような不十分な点が残されており、実用化に向けた障害となっていた。

本研究は、こうした社会的背景を踏まえ、作業者の突発的非常時における心理学的特徴を考慮しながら、音声認識による揚網網機の緊急停止装置の設計に資する基礎資料を得ることに目的があり、突発的非常時に高い頻度で発声が予測される母音「あ」を機械停止の命令語として用いた場合の音声認識に関する広範な検討を行ったものである。

突発的非常時における発声と感情・意図 母音「あ」が揚網網機使用中の巻き込まれ事故などの突発的非常時に発声されやすいこと、および緊急停止の命令語として適していることを検証するために、日本語 5 母音の最大音圧の測定実験を行って、その特徴を分析した。

この結果、男女ともに大声の音圧は 90 から 110 dB の範囲に分布することが明らかとなり、男性の音声平均パワーは、5 母音中「あ」98.7 dB で最大となり、次いで「お」が 97.3dB を示した。さらに、女性の「あ」の音声平均パワーは 93.0dB であり、全母音について男性よりも 4dB 程度小さいことも判明した。一方、突発的非常時の発声者の感情的心理的傾向に着目すると、「驚き」や「恐怖」の切迫的感情を表現するための発声は、「お」より「あ」の方が頻繁に用いられる。このため、本研究では揚網網機使用中の巻き込まれに遭遇するような突発的非常時には、「驚き」や「恐怖」といった切迫的感情が込められた発声である、母音「あ」が発声される頻度が高いものと結論づけた。

さらに、「あ」を停止の命令語として扱うことを前提とした場合、一般的発声に用いられる「あ」との識別を図る必要があるが、既往の研究では一般的音声「あ」に関する系統的な分類は見あたらない。このため、本研究では、突発的非常時の感情を「驚き＋恐怖」の混合感情とし、誤作動を招く原因と考えられる母音「あ」を含む突発的非常時以外の 13 種類の感情・意図を新たに定義した。この分類法に基づき、「驚き＋恐怖」の母音「あ」を緊急停止を要するときの発声とし、他 13 種類の感情・

意図の母音「あ」と識別することとした。

突発的非常時における「あ」の音響学的特徴パラメータの抽出 突発的非常時における発声「あ」と感情・意図の合理性が得られたことから、「驚き+恐怖」の母音「あ」を他 13 種類の感情・意図の母音「あ」から識別できる音響学的特徴パラメータの抽出を試みた。発声被験者の模倣による発声で得られた突発的非常時の「驚き+恐怖」と、他の各感情・意図の「あ」のサンプル音声を聴取実験により評価し、感情がよく表出されているサンプル音声のみに対して、ケプストラム法による F0 曲線の抽出と解析を行なった。

その結果、F0 曲線の特徴パラメータである *START*, *MAX*, *AVERAGE* の閾値および *END-START* の正負によって突発的非常時の「あ」を識別できることを明らかにした。それぞれの閾値は、声の高さの個人差の影響を受けないよう各発声被験者の無感情の F0 平均値を基準とした比で表し、突発的非常時の「あ」は *START* が 1.71 以上 *MAX* が 1.95 以上 *AVERAGE* が 1.73 以上 *END-START* がマイナスとなる結果となった。この識別法においては時間的位置と他感情に対する網羅性から *START* が有効なパラメータであることも明らかにした。

漁船上騒音下での F0 抽出 漁船操業中の騒音レベルと周波数特性を調べ、その性質を明らかにした後、録音した漁船騒音と音声「あ」およびカテゴリー 1 の「驚き」を含む混合感情の「あ」とを MIX した信号を解析し、F0 抽出が可能な音声と騒音レベルの比 (S/N 比) の値を求めた。

2 漁船の騒音レベルは、騒音の大きい漁船のエンジン騒音が 92~93dB, ウインチ作動中騒音が 97~98dB, 騒音の小さい漁船のエンジン騒音が 85~86dB であり、漁船毎に異なる結果を得た。また周波数特性に関しては、エンジンの回転数とクランク軸一回転あたりの燃焼回数に規定される基本周波数とその倍音のピークからなる 150Hz 以下の低周波帯のスペクトルによって特徴づけられることを明らかにした。また MIX 信号の

解析の結果、F0 抽出が可能な、すなわち「驚き＋恐怖」を識別できる S/N 比の値は、START と MAX では、エンジン騒音に対し-15 dB、ウインチ作動中騒音に対し-9dB であった。END では、波形の局所的な S/N 比の検討が必要であるが、エンジン騒音では-9dB 以上の可能性もあり、ウインチ作動中騒音では-3dB 以上となることも予測された。認識速度を速めるのに有利な START を重視し、騒音レベルが大きい側の騒音であるウインチ作動中騒音から限界 S/N 比を定めるならば-9dB が限界であり、ウインチ作動中騒音の騒音レベル 98dB を想定すると、単純な試算で人間側が音声平均パワーで 89dB 以上の「あ」を発声する必要がある。発声実験から得られた音声平均パワーの男声平均が 98.7dB であったことを考慮すれば咽喉マイクロフォンや接話型マイクを使用しない緊急停止装置の開発も十分可能であることが明らかになった。

これらの結果から、騒音レベルより小さい音声レベルで突発的非常時「あ」を識別できることが明らかとなり、騒音レベルより大きな閾値で動作させる方式の欠点が解決できる。また「驚き＋恐怖」の母音「あ」を用いる識別方法は、漁船騒音環境下においても、突発的非常時の緊急停止装置として十分使用に耐えうることが明らかとなった。

以上のように、本論文では、揚網網機の巻き込まれ事故に遭遇した場合に発声されるであろう突発的非常時の母音「あ」を識別して機械を緊急停止させる装置の実用化に向けた課題および使用環境条件に対する指針を明らかにしてきた。本研究の認識アルゴリズムは、低価格のハードウェアや汎用ソフトウェアで利用できることから、装置開発の経済的コストの面からも十分実用に耐え得る機器システムとなることが期待できる。さらに認識後の揚網網機の停止に要する遅延時間の発生も、瞬時動作が可能な電磁-油圧クラッチなどの併用により、十分実用に耐え得る停止速度を得ることができる。

今後の研究課題として、騒音下における音声区間の検出方法の確立と

検証が残されているが、これは音声認識などの専門分野においても困難な課題とされていることから、関連分野を越えた協同的研究が必要であろう。

学位論文審査の要旨

主査	教授	梨本勝昭
副査	教授	飯田浩二
副査	助教授	見上隆克
副査	助教授	山下成治

学位論文題名

揚網網機の緊急停止を考慮した 突発的非常時音声の識別に関する研究

現在、沿岸の小型漁船での操業中における揚網機、揚網機による巻き込まれ事故が多発しており、これを防止する有効な安全対策が強く要望されている。

一般に機械の安全対策として、ハード的に組み込む機構や装置として3つが考えられている。一つは機械が故障した場合、暴走して事故や災害に結び付くことなく、安全を確保する機構を組み込むフェール・セーフ装置、二つ目は異常や故障があつて危険な状態になるような操作がとられないようにした装置であるインターロック機構がある。三つ目は作業標準や機械の危険性などを良く理解していなくてもいかなる誤動作も行われないうフル・プルーフ装置がある。フル・プルーフ装置としては操作者が危険な場所に近づけないようにする稼働部への安全カバーの設置や遠隔操作装置が用いられている。

巻き込まれ事故を未然に防止するためには「ヒヤリ・ハット」の過程、または最悪でも軽傷の過程までにとどめておくことが当然求められている。しかし、小型漁船に装備されている揚網網機についての巻き込まれ防止の安全対策は最も安全性の高い安全カバーについては機械の操作の妨げになること、また網や綱の巻掛け操作を頻繁に行う必要があることから遠隔操作方式を用いることは難しく、ハード的な安全対策に頼らざるを得ないのが現状である。揚網網機の回転体への巻き込まれ、挟まれの安全対策が遅れている現状において、危険が決定的状態に至る前に機械を停止させる緊急停止装置としてはセンサーによる自動停止装置の導入は難しく、人間の視覚によって危険を感知し、人間が指令を与えるフットスイッチや音声認識による方法が開発されているが、十分普及するまでには至っていない。

本研究では作業者が突発的非常時において、高い頻度で発声することが予想される母音「あ」を機械の緊急自動停止用命令音声として注目し、日本語5母音について最大音圧の測定を行った。また、一般的な感情・意図で発声する「あ」と突発的非常時に「恐怖と驚き」の感情で発声する「あ」とを識別するためにケプストラム法によるF0曲線の解析をし、音響学的特徴パラメータとしてSTART、MAX、AVERAGE、START-ENDの抽出を行った。そして、これらを識別するためにはSTARTが最も有効的なパラメータであることを見い出した。また、漁船の操業中における騒音レベルと周波数特性を調べ、その特徴を解明した。さらに、この漁船の騒音と「驚き+恐怖」の混合感情として発声する「あ」を混合した音声を作り、F0の抽出可能な「あ」の音声と騒音レベルの比(S/N比)を求め、事故遭遇時に発声する母音「あ」が最も有効的な命令音声として使用できることを明らかにした。

特に審査員一同が高く評価した点は以下の通りである。

- 1) 突発的非常時において「驚き+恐怖」の切迫的感情を高い頻度で発声されることが予想される母音「あ」を機械停止の命令音声と注目した点。
- 2) F0 曲線の特徴パラメータである START、MAX、AVERAGE の閾値および START-ENDの正負によって突発的非常時に発する「あ」と感情・意図で発する「あ」とを識別できることを明らかにし、START が最も有効的なパラメータであることを指摘した点。
- 3) 漁船の操業中の騒音環境下において、突発的非常時に発する「あ」は緊急停止のために発する命令音声として十分使用できることを見出した点。
- 4) 騒音レベルが大きいウインチ作動中における騒音から識別可能な限界S/N 比を試算し、-9 dB程度になることを指摘した点。

以上の成果は、突発的非常時に発する音声「あ」を認識することによる揚網網機の緊急停止装置の設計に資する基礎的資料を得たものであり、高く評価できる。よって審査員一同は、本論文が博士（水産科学）の学位論文として価値あるものと判定した。