

12. ヘリウム音声修正機の評価試験*1

大久保 明*2 神田 修治*2

高圧ヘリウム混合ガス環境下の発声、いわゆるヘリウム音声による交話の困難さを改善するヘリウム音声修正機2機種(MARCONI社製TYPE DS-034とHELLE社製MODEL3312)を用い、潜水シミュレーション実験で100m相当圧力までのドライ環境下および120m、140m相当圧の潜水中のヘリウム音声修正能力試験を行った。音声を録音、再生し、聴取による明瞭度試験の結果、ヘリウム音声修正機の効果は顕著であった。たとえば、100mでは修正機なしのひらがな音声30%が修正機を使用した場合には70%に明瞭度が改善された。又聞き手の経験の有無またはテストダイバーの発声の仕方によっても明瞭度の差があり、訓練が重要であることがわかった。さらにドライ環境に比べ、潜水中の明瞭度は悪いことがわかった。これには潜水具、水中マイクロホン等も要因に入れる必要があり、潜水具等との関連を考慮した最適なダイバー用マイクロホンの開発が必要と考えられた。

Experimental Study on the Evaluation of Helium Speech Unscramblers

Akira Ohkubo*3, Shuji Kanda*3

In the He-O₂ environment, voice in conversation is badly distorted and becomes almost unintelligible at depth deeper than 30 m. This is called "Helium Speech". To avoid these difficulties, various types of Helium Speech Unscrambler are being developed and some of them are used in practice.

The purpose of this study is to evaluate the intelligibilities of two helium speech unscramblers, the Marconi Type DS-034 Diver speech Processor and the Helle Engineering Model 3312 Wire Diver Phone.

As an example of the test result the overall mean value of intelligibility for 100 m depth in dry condition is 70% using helium speech unscramblers and 30% without unscrambler.

The intelligibility in the underwater condition was extremely lower than that in the dry condition. This intelligibility reduction is supposed to be affected by the acoustic characteristics of mask cavity, noise due to breathing gas flow, and restriction to articulatory movement of mouth.

As the result, it was found that the Helium Speech Unscramblers were very effective and can be used practically, and that it is necessary to develop and install in diving mask, a diver's microphone insensitive to the diving mask cavity resonance, noise due to breathing gas flow and restriction to mouth movement.

*1 本研究は、科学技術庁研究調整局から委託を受けた「大陸棚有人潜水作業システムの研究開発」の一環として実施したものである。

*2 潜水技術部

*3 Manned Undersea Technology and Engineering Dept.

1. はじめに

高圧ヘリウム混合ガス環境下で発生される人間の声は、いわゆるヘリウム音声（ドナルドダック音声）となり、明瞭度が悪くなり、潜水者と支援側との交話、あるいは潜水者間との交話が円滑にいかない。

この明瞭度の改善のため、ヘリウム音声の原因の究明と対策の研究がさかんに行われている^{1)~4)}しかし、そのほとんどが英語素音についてである。たとえばシーラブⅢ実験では英単語表を使って明瞭度に関する実験が行われているが、日本語についての報告^{5) 6)}はきわめて少ない。

本研究は主としてひらがな音声の各種雰囲気でのヘリウム音声の明瞭度を調べると共に、外国で開発されたヘリウム音声2機種のマルコニー社製DS-034とHELLE社製MODEL 3312の修正能力とを評価し、日本語への適性等を調べた。

2. 実験方法

海洋科学技術センターの潜水シミュレーターを使用し、100 mの飽和潜水時および120 m、140 mエクスカージョン潜水時に、テストダイバー4人の音声を図1に示す系統でテープレコーダーに

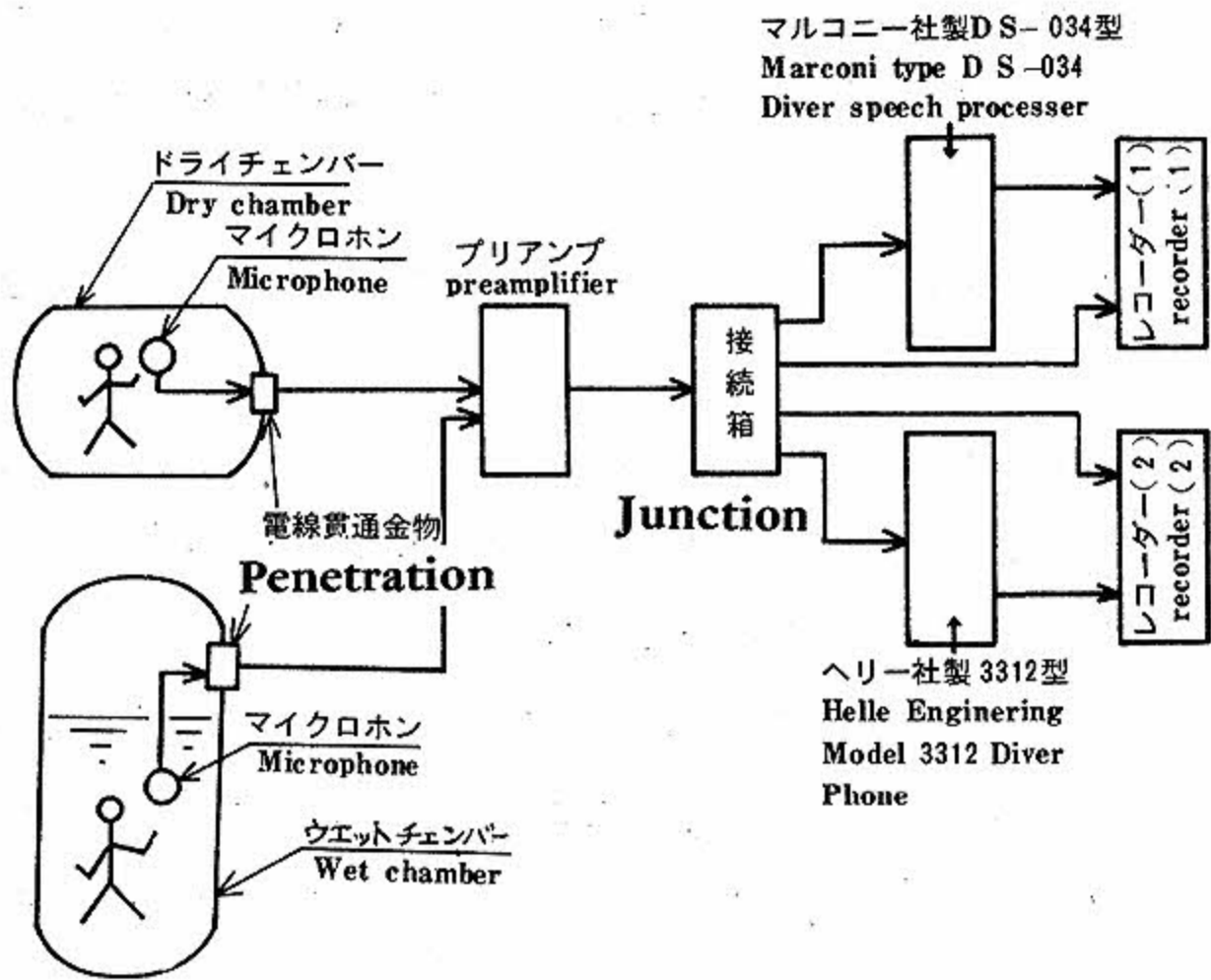


図1 試験記録系統図

Block diagram of test apparatus

収録した。

2.1 ドライチャンバーでの音声収録

100 m保圧中および減圧過程での58 m、34 mおよび0 m相当圧において表1の音表を4人のテストダイバーに読み上げさせ、ヘリウム音声修正機

を使用した音声と使用しない音声とを同時に同一のテープに収録した。

なお、使用したマイクロホンはプリモ製形式DH-1005 Lである。

表2は各実験深度の呼吸ガスの組成を示す。

2.2 ウェットチャンバーの潜水中の音声収録

120 mおよび140 mの深度相当圧環境下での潜水作業中に表3の音表を4人のテストダイバーに読み上げさせ、ヘリウム音声修正機を使用した音声と使用しない音声とを同時に同一のテープに収録した。

区分 classification	音節 (単音) syllable (single sound)										
	ひらがな hiragana	ば	あ	ひゃ	きゃ	で	しゅ	ら	ちゅ	よ	え
和文章 Japanese composition	ぎょ	きょ	り	な	つ	け	と	じょ	ぐ	きゅ	
	みゅ	る	に	た	も	ちゅ	ど	へ	れ	を	
	そ	う	びょ	しゃ	じ	ゆ	ち	ね	ろ	す	
	ぼ	く	わ	け	ひょ	びょ	め	にょ	びょ	ざ	
	ぶ	お	しゃ	び	ぜ	の	ち	ま	ぎ	じゅ	
	ひゃ	は	や	みゃ	きゅ	ほ	ぶ	ひ	い	っ	
	び	べ	か	き	み	む	きゃ	し	にゅ	ぬ	
	びょ	す	びゅ	みゅ	にゅ	ふ	が	ご	だ	びゅ	
	へ	しゅ	そ	さ	ちゅ	せ	く	こ	は		
	数字 Count	1	4	9	3	5	2	6	7	8	10
アルファベット alphabet	A	D	U	I	T	V	P	O	C	X	
	M	S	E	Y	Q	B	R	F	G	L	
	W	K	N	H	J	Z					
英数 English	Language count	One	Four	Nine	Three	Five	Two	Six	Seven	Eight	Ten
和文章 Japanese composition	呼吸ガスのバルブがおかしい。										
	スタンドのスイッチ'8'をおした。										
	ヘルメットのまどがくもつてみえない。										
	ケーブルがからまった。										
	手がいらない。										
	She is very lovely										

表1 ドライチャンバーでの試験用音表
Words list for dry chamber tests

ガスの種類 深度(m)	O ₂	N ₂	He
0	21	69	0
34	6.8	18	75.2
58	4.4	11.6	84
100	2.7	7.2	90.1
120	10	0	90
140	10	0	90

表2 実験深度における呼吸ガスの組成 (%)
Composition of gas used in the experiment

なお、使用した潜水具およびマイクロホンはアクアダイブ社製ハードハットである。120 m, 140 mの呼吸ガスの組成は表2に示す。

2.3 解析の方法

収録した録音テープを、テストダイバーを含むヘリウム音声に馴れた経験者5人、全くの未経験者5人を聞き手に選び、聞きとらせ正解率を集計し、これをパーセント表示して明瞭度とした。聞き取る方法は両耳のヘッドホンで聞き取り、その音声を聞き手が発声し、他の者が採点する方式を採用した。

3. 結 果

3.1 ヘリウム音声修正機の修正能力

図2の(1)~(6)には深度による明瞭度の変化を修正機を通した場合と通さない場合について示す。

- (1) ひらがな、英文章、和文章、英数字、数字のどの場合にも音声修正機による明瞭度の改善は顕著である。特にひらがなについては顕著である。
- (2) 音声修正機を通さない場合は深度が増すに従って明瞭度が悪くなり、修正機を通した場合には深度が増しても明瞭度は悪くない。このことからドライ環境では、100 mをこえる深度でも修正効果があることが予想できる。
- (3) ウェット状態の潜水中でも修正機の修正能

文 章 composition					
1	急にねむくなってきた。				
2	頭が少しいたい。				
3	非常に快適だ。				
4	目がちかちかする。				
5	Spring has come				
単 音 節 single sound					
1	ヌ・テ・ド・ル・シヨ・ケ・ギョ・ヒヤ・リュ・チ				
2	キヨ・タ・ゴ・ジ・ウ・チャ・ム・ツ・バ・ヒ				
2 音 節 syllable					
1	ヘーヒヤ	フーギョ	ムーキ	ポーヌ	ミーピ
2	ゾーナ	ヒャーロ	ドーニョ	ゼーオ	ピョーザ
3 音 節 syllable					
1	ヒュームーモ	レーセーネ	シューゲーニ		
2	ゾーノーヲ	ユーリョーフ	シャーウーヒヤ		

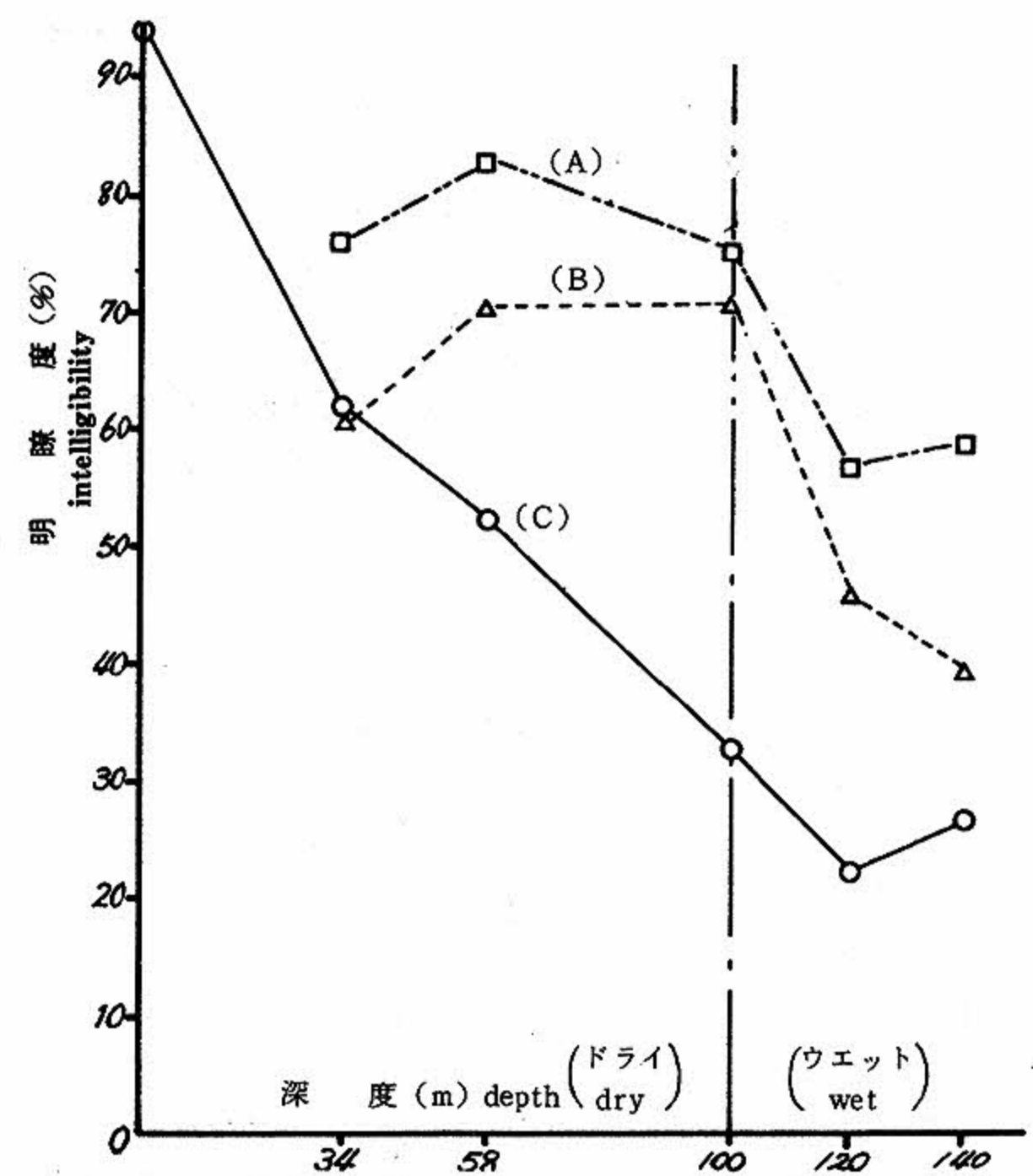
表3 ウェットチェンバーでの試験用音表
Words list for wet chamber tests

力は顕著である。しかしドライ環境に比べて明瞭度は悪くなっている。これはダイバーの使用したマイクロホンおよび潜水具等による発声環境が異っているためと考えられる。したがって図2の(1), (2)および(3)において深度が100 mをこえると明瞭度が著しく低下しているのは深度以外の影響も受けていると考えられるべきといえる。

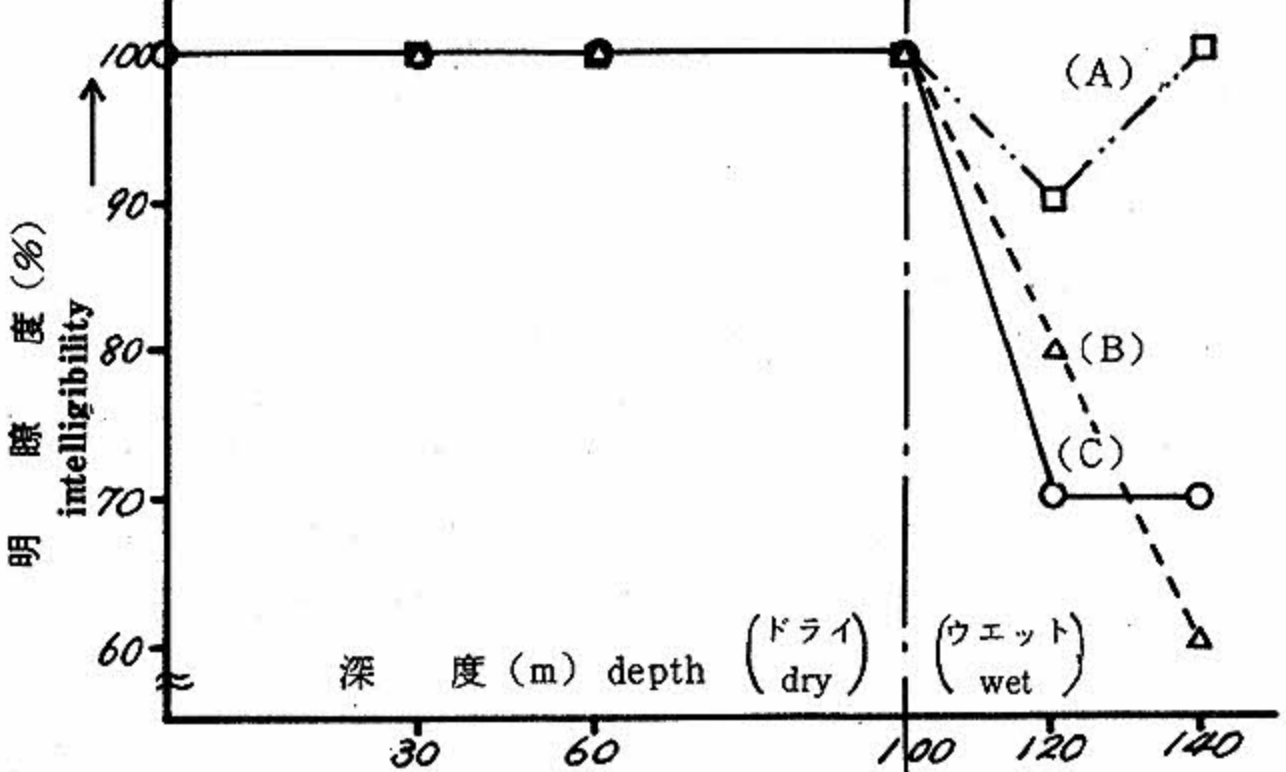
3.2 経験者、未経験者による明瞭度の差異

図2の(7)にはひらがなの経験者、未経験者による明瞭度の差異を示す。

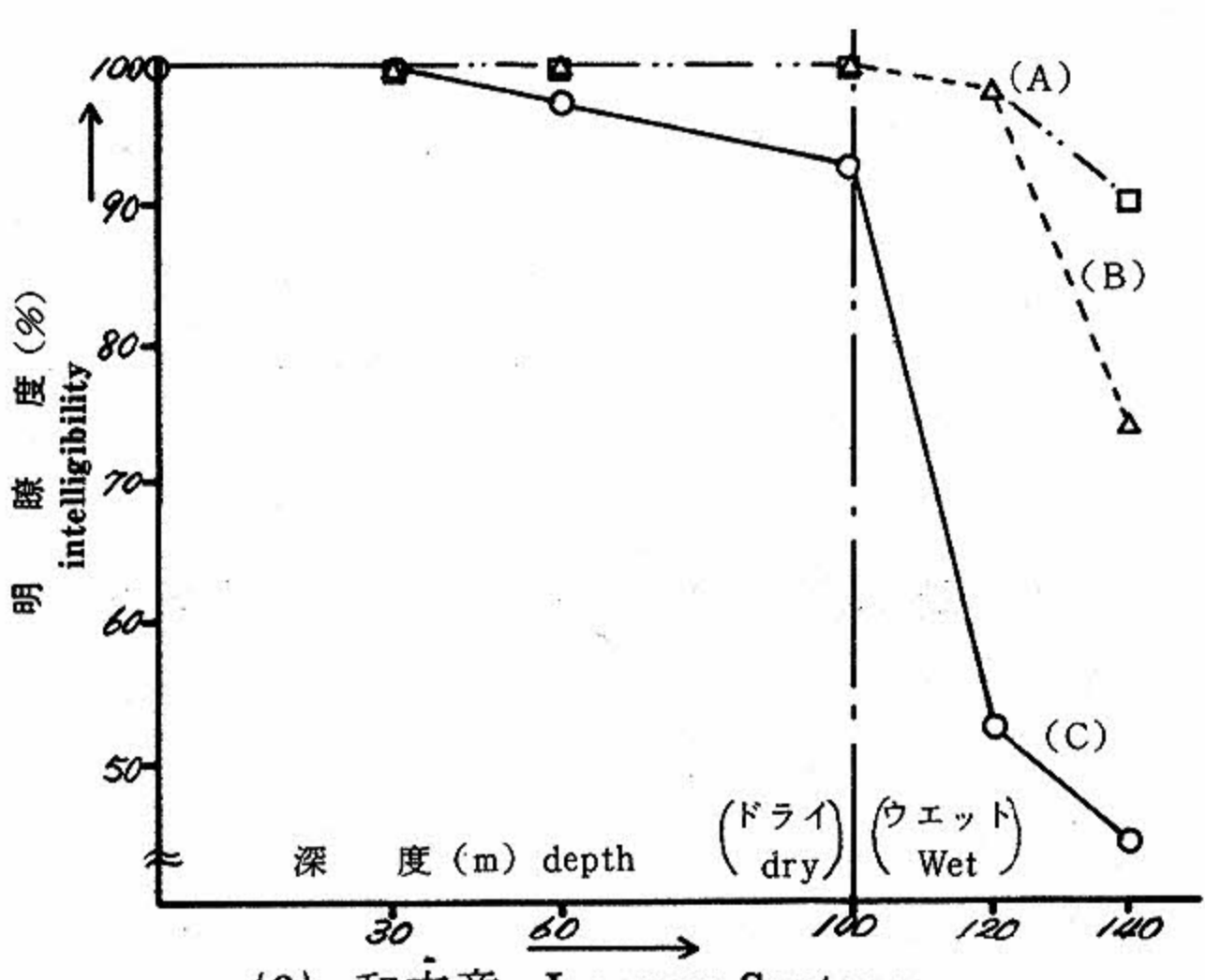
経験者と未経験者との差異はヘリウム音声修正機を通した場合はドライ環境下では顕著な差は認められない。ただしヘリウム音声修正機なしの場合および潜水中の場合(120 m, 140 m)には、経験者の方が未経験者に比べて明瞭度が良くなっていることがわかる。



(1) ひらがな CV-Syllables

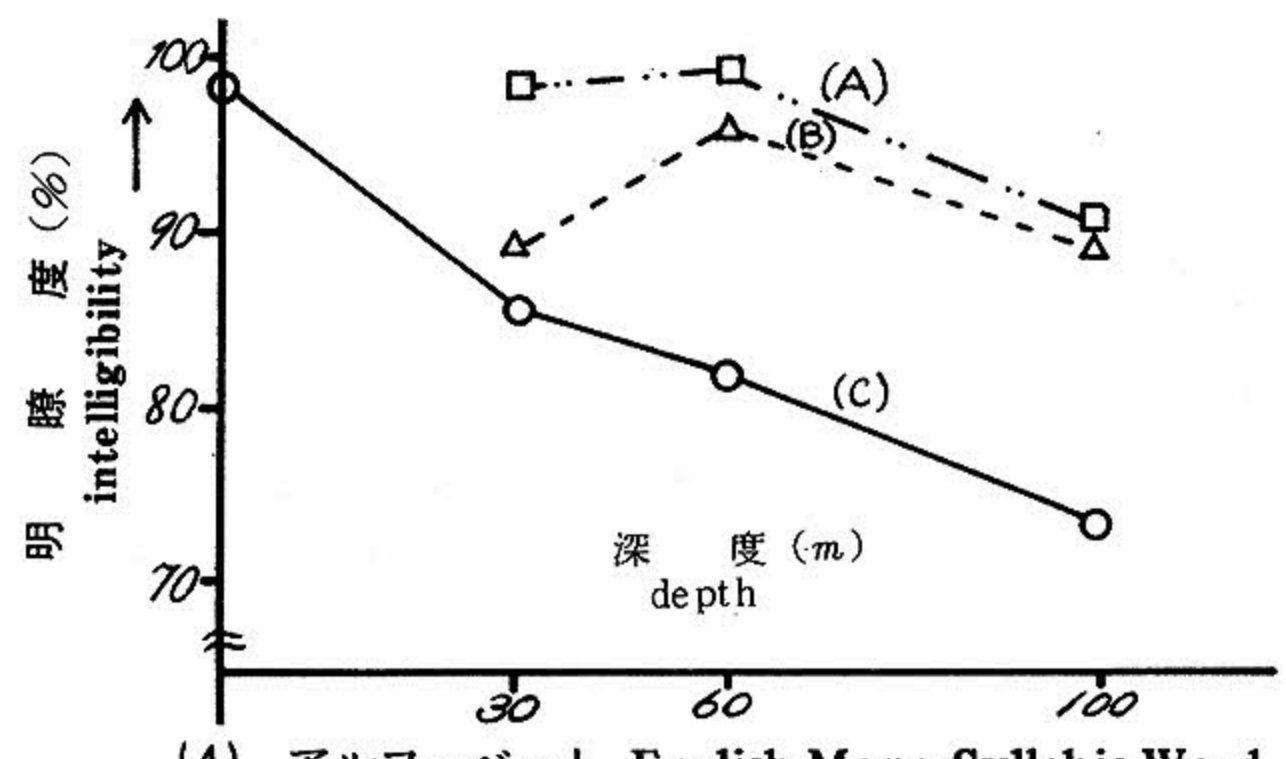


(2) 英文章 English Sentence

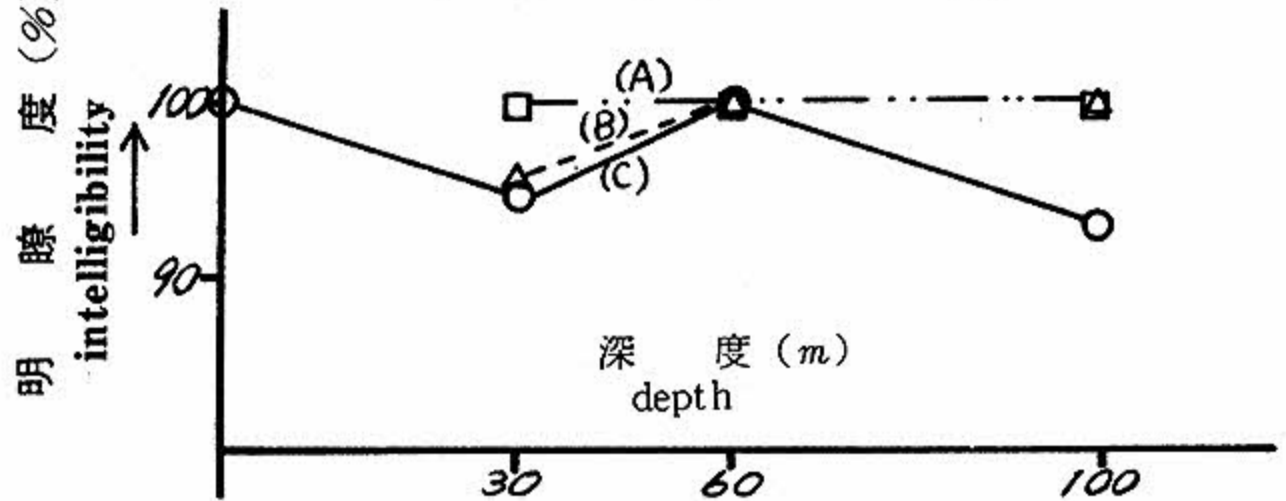


(3) 和文章 Japanese Sentence

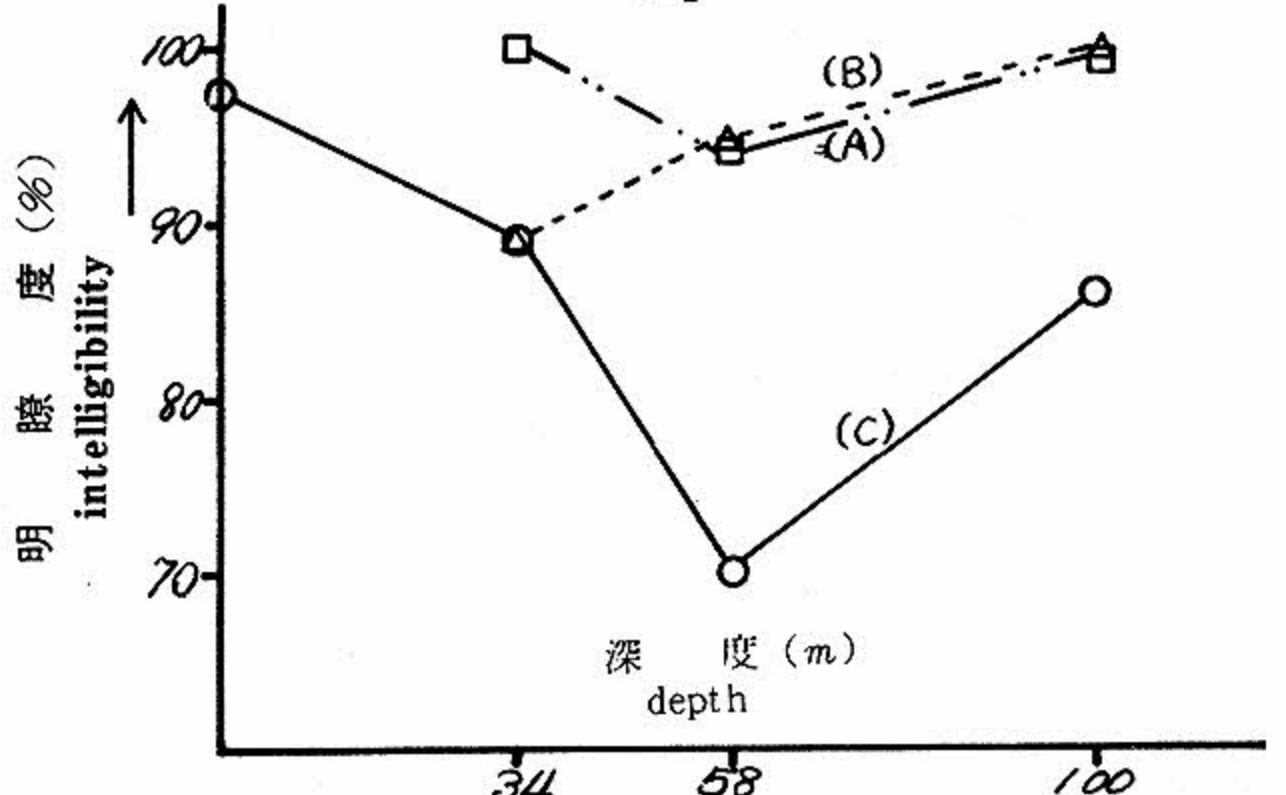
(A) ヘリー社製3312型 Helle Engineering Model 3312 wire Diver phone
 (B) マルコニー社製DS-034型 Marconi type DS-034 Diver speech processor
 (C) 無修正 non correction



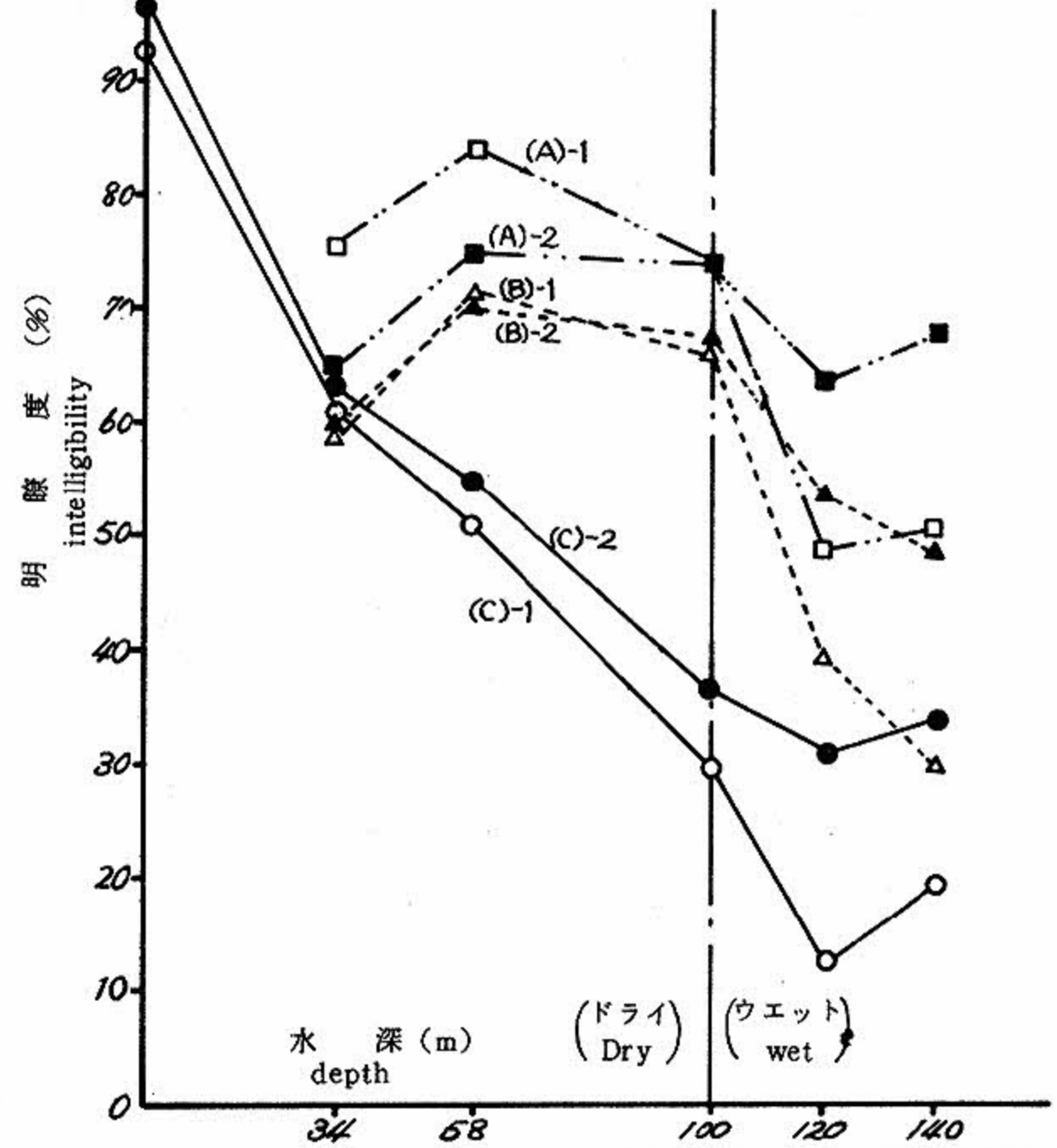
(4) アルファベット English Mono-Syllabic Word



(5) 和数字 Japanese Numerical Words



(6) 英数字 English Numerical Words

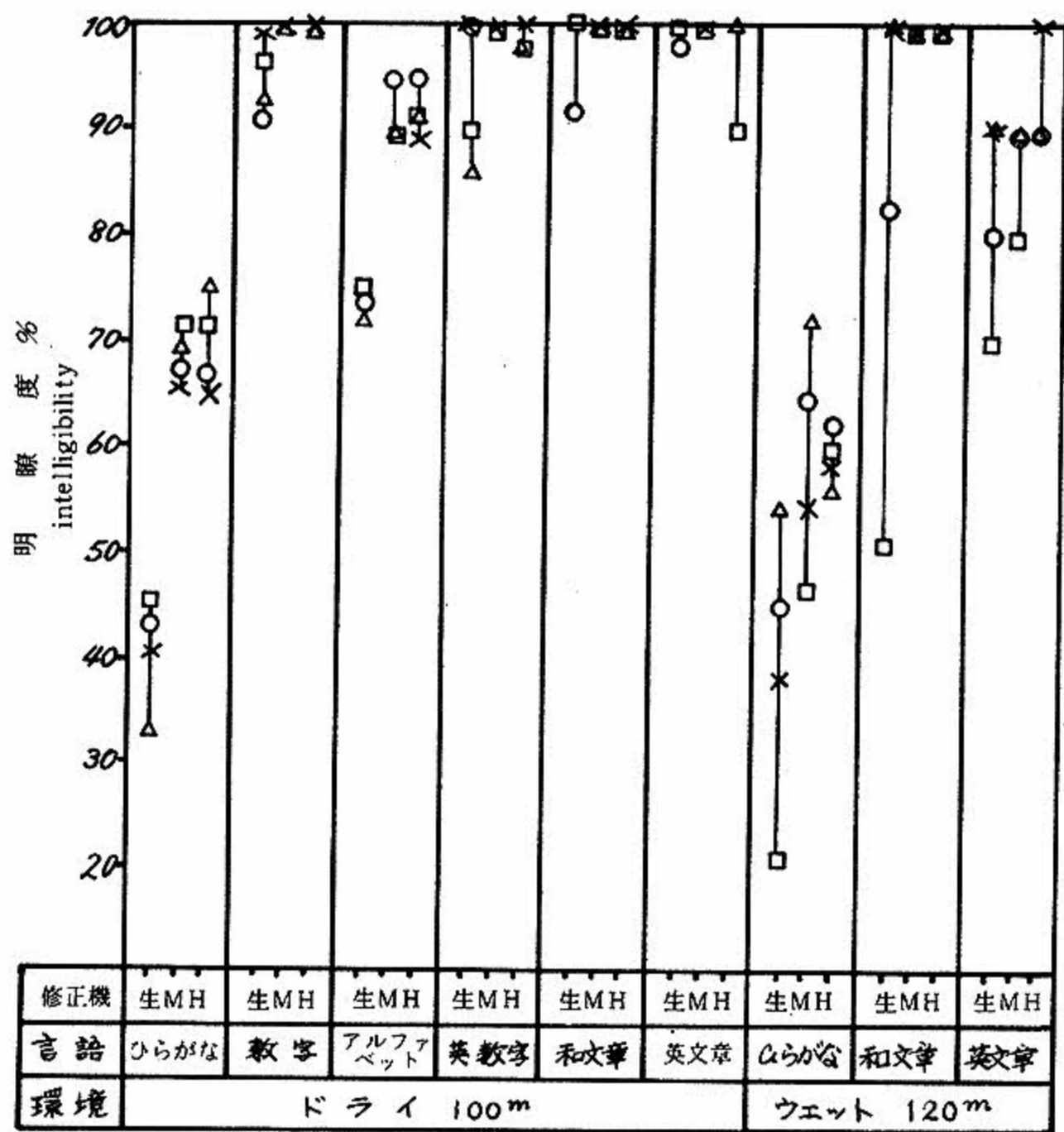


未経験者 a man of nonexperience ; (A)-1(□), (B)-1(△), (C)-2(○)
 経験者 a man of experience ; (A)-2(■), (B)-2(▲), (C)-2(●)

(7) ひらがな (経験者と未経験者) CV-Syllables (experienced and non-experienced)

図2 明確度変化

Intelligibilities relating to the depth change



テストダイバー test diver : ○...1, ×...2, □...3, △...4
 修正機 unscrambler : 生...修正機なし non unscrambler,
 M...マルコニー社製 Marconi type DS-034 diver speech processor,
 H...ヘリー社製 Helle Engineering Model 3312 wire Diver phone.

図3 テストダイバーによる明瞭度の差異
 Intelligibility relating to the change of test diver

3.3 テストダイバーによる明瞭度の差異

図3にはテストダイバー4人の100m(ドライ

環境下) および120m(潜水中)の明瞭度の差異を示す。

- (1) 100mドライ環境下でのテストダイバーによる明瞭度の差は、ヘリウム音声修正機を通じた場合にはあまり差が認められない。使用しない場合には、ひらがなおよび英数字では明瞭度で約20%の差が現われる。
- (2) 120m潜水中でヘリウム音声修正機を使用しない場合には、テストダイバーによる差が大きい。又使用した場合でもドライ環境に比べて潜水中の方が差が大きくなっている。したがって潜水中での交話を行う場合にはテストダイバーの発声訓練等が重要といえる。

3.4 ひらがなの種類による明瞭度の差異

図4には直音、濁音(半濁音)、拗音の水深による明瞭度変化を示す。

ヘリウム音声修正機の修正効果は拗音において最も著しく、ついで濁音、直音の順に著しい。特に拗音では100mで修正機なしの場合にはほとんど了解できなく、修正機を使用すれば70%以上の明瞭度となり、その修正効果は顕著である。

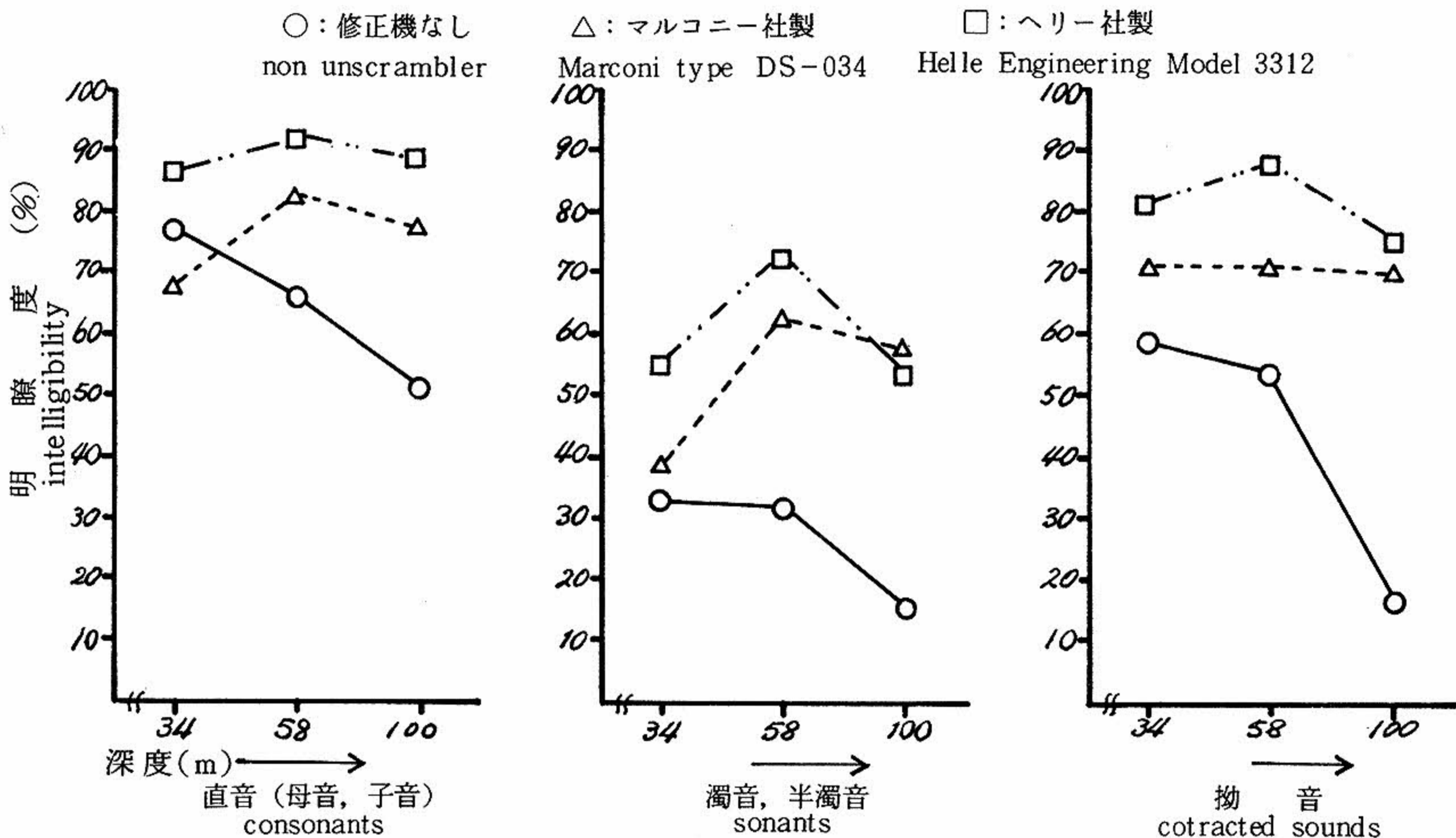
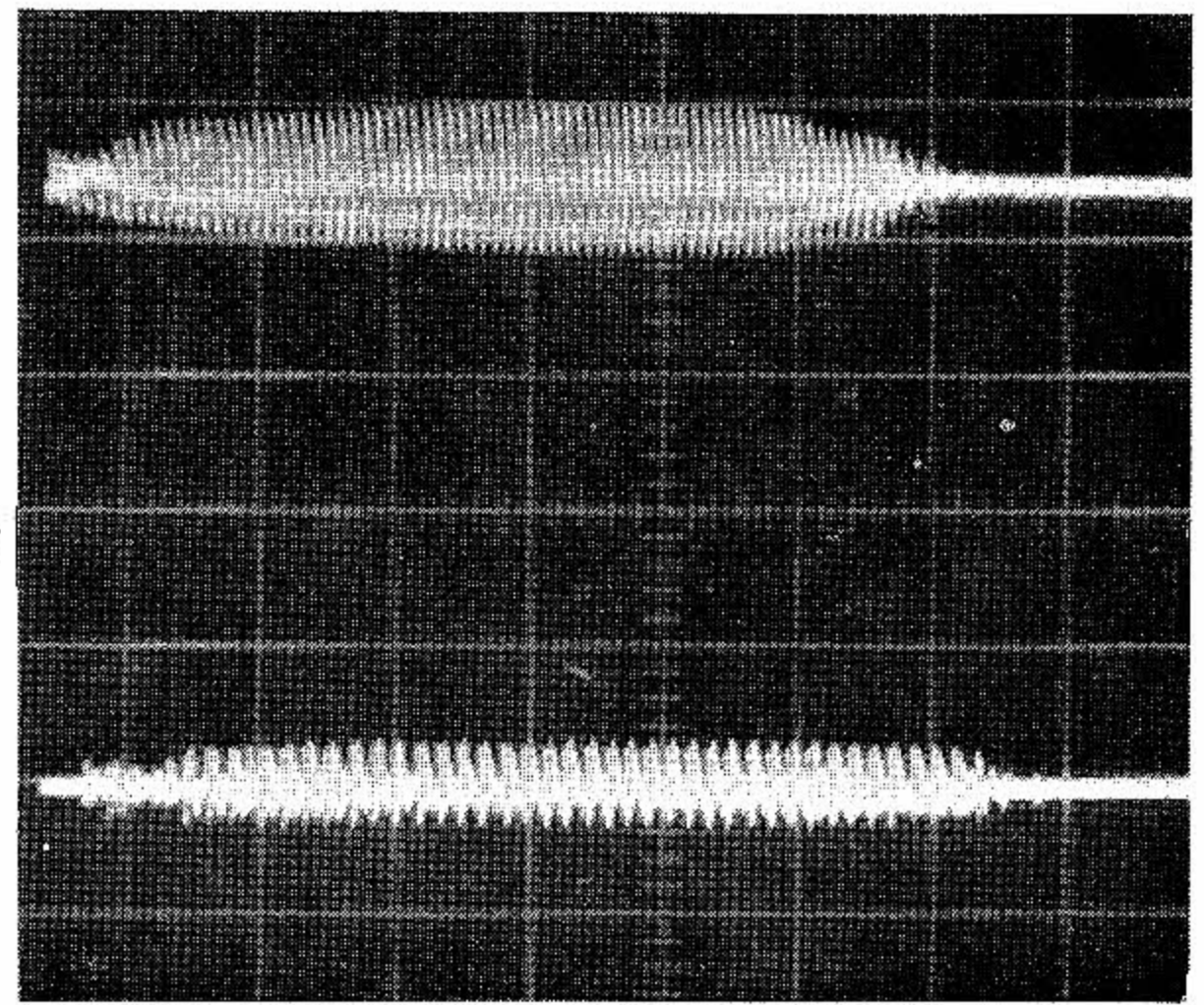
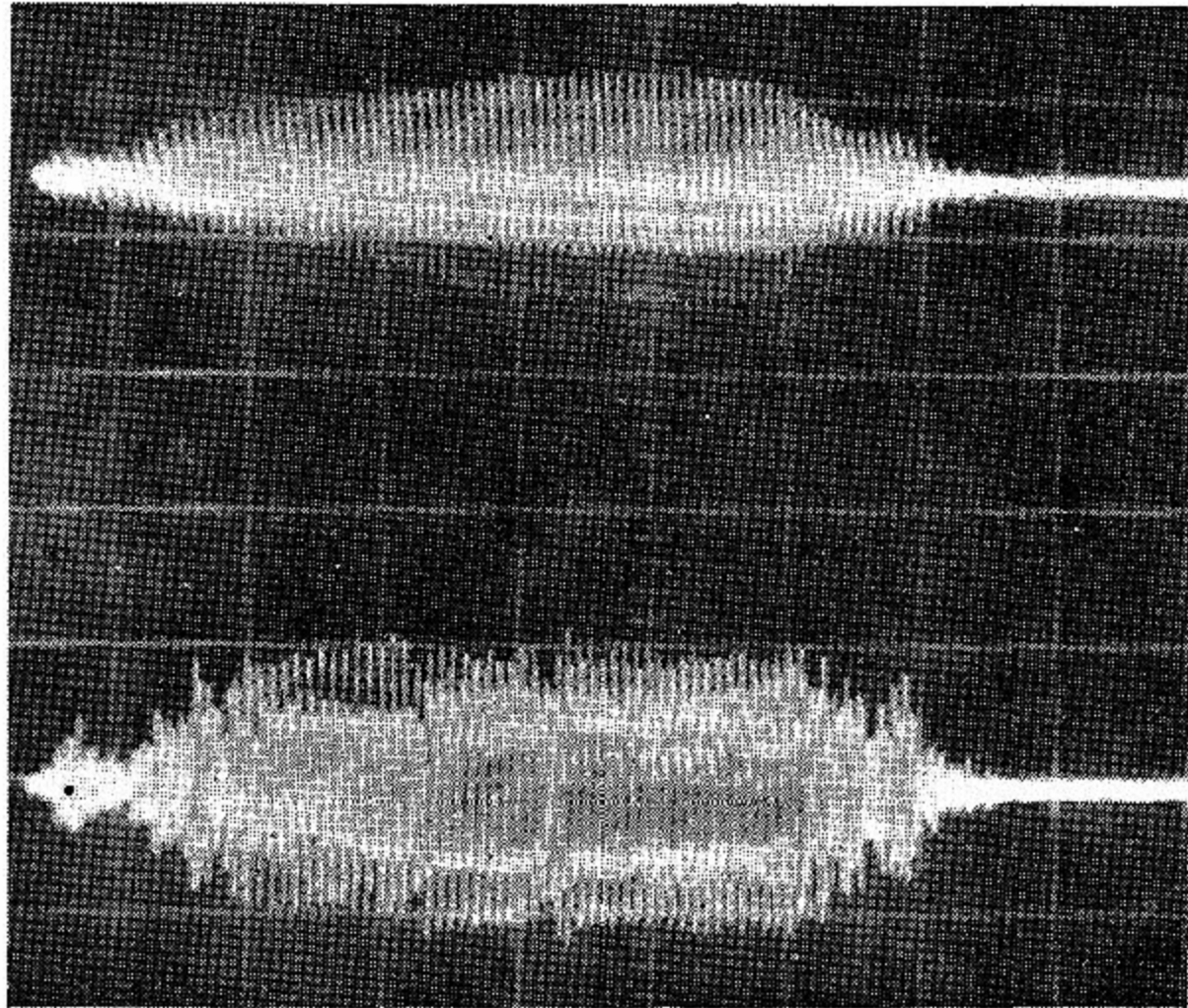
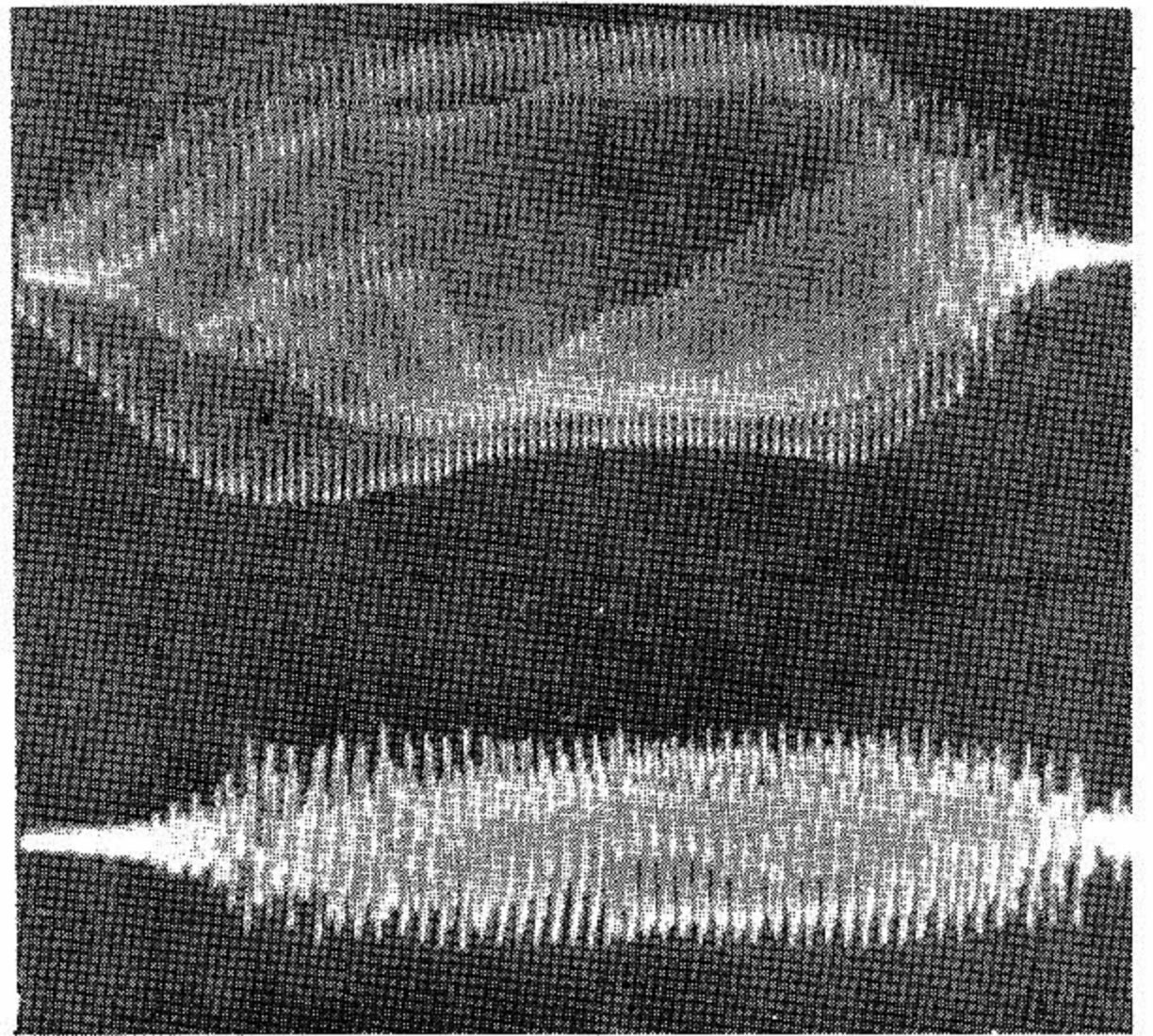
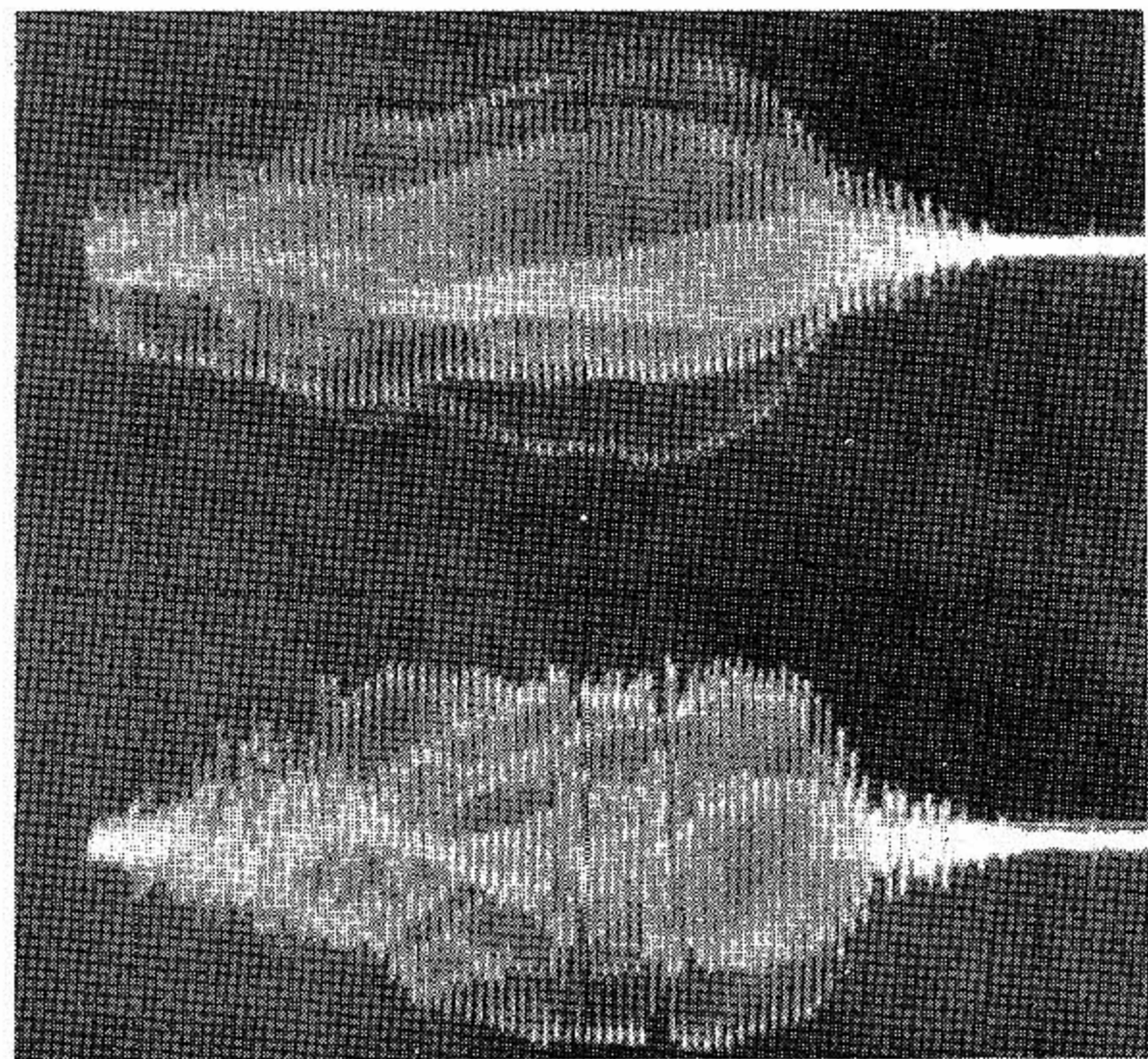


図4 ひらがな(直音、濁音、半濁音、拗音)の明瞭度

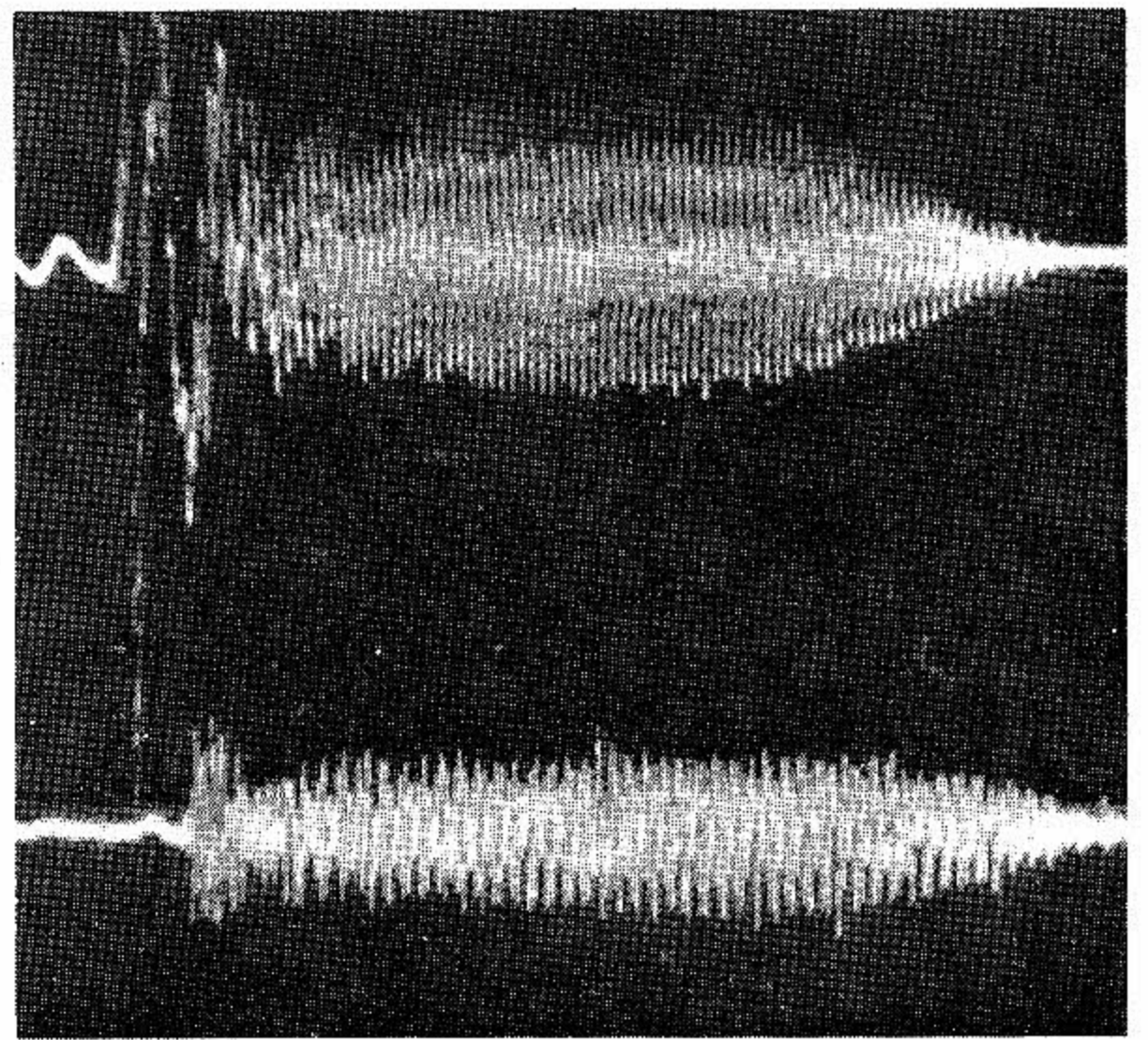
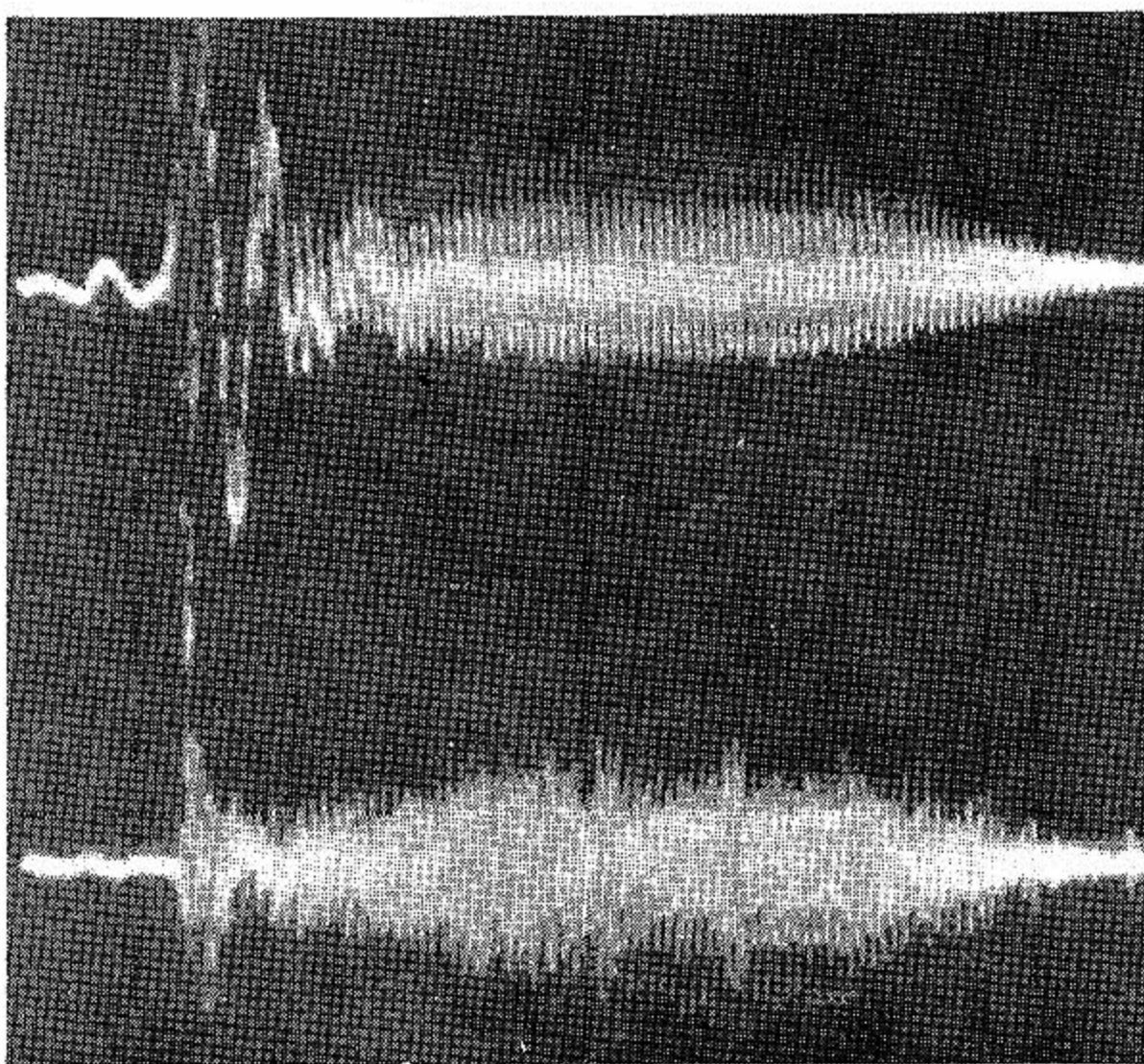
Intelligibility of consonants (including vowels), sonants, and contracted sounds related to the depth change



「あ」音



「よ」音



「び」音

上：修正機なし
下：Marconi 修正機

写真1 音声波形 (100 m)
Wave forms of speech sound

上：修正機なし
下：Hell 修正機

4. 考 察

以上の結果、ヘリウム音声修正機の効果は顕著であり、100 m相当ドライ環境下では日本語でも十分使用できることがわかったが今後の問題点として、次のことが考えられる。

(1) 潜水具に起因する問題点

ドライ環境下に比べ水中での修正能力はまだ十分とは言えない。これには前述の潜水具に装着して使用するダイバー用マイクロホンの性能、呼吸ガス等の雑音、および水中でのダイバーの発声の困難さ等も関連すると考えられる。これらの点を解明して、潜水具との関連を考慮した最適なダイバー用マイクロホンを開発することが必要といえる。

(2) 深々度におけるヘリウム音声修正機の性能

ヘリウム音声修正機の100 mをこえる深度での修正能力については、今回の実験から十分期待できることが予想され、引き続き深々度の実験を行い確認する必要がある。

(3) ヘリウム音声修正機の修正方式による問題点

今回の実験結果では、ヘリー社製とマルコニー社製の修正能力について、明瞭度の差はあまり顕著ではなかった。

写真1には記録音の波形をシンクロスコープで再生した音声波形の一例を示す。ここで特徴的なことは、マルコニー社製のものはヘリー社製のものに比べ、生の音声波形をよくとどめていること、又“び”音にみられるように、1ピッチ周期内音声波形を再現する様子が良く現われている。

使用するマイクロホンの相異によっても、修正方式に適、不適があるようである。たとえば、リップマイクロホンをのど元に付け修正機を通した場合には、マルコニー社製のものはヘリー社製に比べ、極めて修正効果がわるかった。

今回の実験では波形観察の試行にとどめたが、今後これに関する実験を進め、音声波形のありさまと明瞭度の相関性を解明していくことも重要と考える。

(4) 日本語への適用に関する問題点

今回試験したヘリウム音声修正機はいずれも外国で開発されたものであり、対象言語は

英語といえる。テストダイバーが英語の発音に必ずしも熟練していないという問題はあるが、今回の結果でも、アルファベット、英文章等は日本語に比べ、明瞭度が良い傾向が見られる。

今後、前記の音声波形の調査研究等、音響学的調査研究と相まって日本語を対象にしたヘリウム音声修正機に関する調査とその開発が必要といえる。

5. 結 論

ヘリウム音声修正機2種について、潜水シミュレーション実験で修正能力試験を行った結果、つぎの結論を得た。

- (1) ヘリウム音声修正機なしの場合には、60 m深度相当のヘリウム音声のひらがな単音節明瞭度は50%であり、60 mをこえる深度で交話することはほとんど困難である。
- (2) ヘリウム音声修正機を使用すれば、ひらがな単音節明瞭度は100 mまで深度にかかわらず70~85%に改善され、交話が可能となり、修正効果は顕著である。
- (3) ヘリウム音声修正機の修正効果は、拗音が最も良く、以下濁音(半濁音)、直音の順に良い。
- (4) ドライ環境下のヘリウム音声および修正機を使用した場合の音声の明瞭度に比べ、潜水中のものは非常に悪くなっている。このことは潜水具、およびダイバー用マイクロホン等も要因になっていると考えられる。
- (5) 聞き手のヘリウム音声に対する経験の有無、又、テストダイバーの発声の仕方によって明瞭度の差が顕著に現われており、これはウェット潜水中および深度が増すにつれて顕著になっている。したがってダイバー、オペレーターの交話訓練が重要といえる。

文 献

- 1) Hollien, H., C.H. Thompson (15 Feb., 1971) Speech intelligibility as a function of ambient pressure and HeO₂ atmosphere
Gainesville, Fla., Univ. Fla., Commieu Sci. Lab., Rep. 18
- 2) Stover, W.R., Technique for Correcting Helium Speech Distortion, JASA, 41, p. 70-74

- 3) Stewart, J.L. (1969) Helium Speech Processing Proc. of Aerospace and Electronics, Conference (21th), p. 271-274.
- 4) Beil, R.G. (1962) Frequency Analysis of Vowels Produced in a Helium-Rich Atmosphere JASA 34, p. 347-349
- 5) 中津井護, 鈴木誠, ヘリウム音声のききとり上の性質, 日本音響学会誌, 30(9)1974, p. 477~485
- 6) 中津井護, 高圧条件下の母音のききとり, 日本音響学会誌, 31-3(1975), p. 221~227