原 著

口腔内原音発生振動子を用いた無喉頭者の発声システムの開発と その代用原音を口腔内圧で制御する試み

高橋 宏知¹⁾ 中尾 政之¹⁾ 大草 武徳¹⁾ 畑村洋太郎¹⁾
菊地彌太郎²⁾ 加我 君孝³⁾

要 約：本論文では、著者らが「口腔内原音発生振動子」を用いた無喉頭者の発声システムを提案、試作、評価をして得た知見を報告する。本システムでは、上顎に固定する義歯に振動子を埋め込み、その振動子で生成した音を喉頭原音の代用音として用いる。口腔内原音発生振動子と電気式人工喉頭とを用いて、CV 音節を患者に発声させ、それを第三者に聴取させるテストを行った。両者とも正答率は 50 % 弱と相違はなく、両者とも無声音を有声音に異聴する誤答率が約 30 % と顕著であることがわかった。さらに、この異聴の原因を検討した結果、無声子音発声時の VOT と第一フォルマントの遷移時間の影響が大きいことがわかった。無声子音の明瞭度を改善するために、発話中の口腔内圧の上昇から無声子音部を検出して、その部分では振動子を一時停止する制御を試みた。その結果、無声音を有声音と異聴する誤答率が約 10 % と小さくなり、本制御方法が有効であることを示した。

索引用語：口腔内原音発生振動子、電気式人工喉頭、無声子音の明瞭度、口腔内圧

A Voice Generation System Using an Intra-Mouth Vibrator —Its Voicing Control Using Intra-Oral Pressure—

Hirokazu Takahashi¹⁾, Masayuki Nakao¹⁾, Takenori Okusa¹⁾, Yotaro Hatamura¹⁾
Yataro Kikuchi²⁾, Kimitaka Kaga³⁾

Abstract : For alaryngeal speech, we propose a voice generation system using an intra-mouth vibrator. The vibrator, fixed in artificial teeth, generates sounds in the oral cavity as a substitute for glottal sounds. We evaluated intelligibility of speech with this system; correct identification of CV (consonant-vowel) syllables was about 50%, which was almost the same as for electrolaryngeal speech. Both speech systems showed 30% incorrect identification of voiceless consonants perceived as voiced. These errors were recognized as being induced by VOT (voice onset time) and first formant transition. To make voiceless consonants clearly sounded, we controlled the sound source using intra-oral pressure,

東京大学大学院工学系研究科¹⁾：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

きくち歯科医院²⁾：〒160-0023 東京都新宿区西新宿 3-14-16

東京大学医学部耳鼻咽喉科教室³⁾：〒113-8655 東京都文京区本郷 7-3-1

¹⁾Graduate School of Engineering, The University of Tokyo : 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656

²⁾Kikuchi Dental Clinic : 3-14-16 Nishi-Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0023

³⁾Department of Otolaryngology, School of Medicine, The University of Tokyo : 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8655

原稿受理：1999 年 11 月 2 日

which increases during voiceless consonants. The sounds of the vibrator should be suspended when intra-oral pressure increases. With this method we were able to improve voiceless consonant recognition errors to 10%, and found that the system worked as designed.

Key words : intra-mouth vibrator, electrolynx, intelligibility of voiceless consonants, intra-oral pressure

はじめに

喉頭全摘出術後の無喉頭音声として、主に、食道音声と笛式人工喉頭や電気式人工喉頭（エレクトロラリンクス）を用いた代用音声とが挙げられる¹⁻³⁾。食道音声の明瞭度は比較的高く⁴⁾、発声に器具を必要としないため、それを使用している患者の QOL (Quality of life) は高いが、癌の再発や加齢のため訓練を継続することが難しくなり、習得できないことも少なくない^{5,6)}。笛式人工喉頭を用いた発声の明瞭度はこれらの無喉頭音声の中では最も高く、それを利用している患者の QOL も高いが、気管孔に密着させる受け皿や口腔内に挿入するゴムパイプを清潔に保たなければならないといった衛生面での問題があることや、使用時に器具が目立つことから、その使用者は徐々に減りつつある^{1,7)}。最近では簡便性や衛生面で優れた電気式人工喉頭が盛んに用いられるようになったが、明瞭度が低い、平坦単調な音声しか出せない、器具を持つために

片手が塞がる、といった欠点があることから、利用者の QOL に対する満足度は低い。さらに放射線治療での頸部皮膚の硬化が、電気式人工喉頭を用いた発声の習熟に大きく影響する¹⁾。

このような従来の無喉頭音声の欠点を解消できる発声手段として、音源を義歯に固定した「口腔内原音発生振動子」を用いた発声システム⁸⁻¹⁰⁾を提案する。本稿では、口腔内原音発生振動子の試作と、それを用いた発声の明瞭度の評価を行い、さらに、無声子音を明瞭にするために、口腔内圧を用いて振動子の制御を試みたので、得られた知見を報告する。

口腔内原音発生振動子を用いた発声システムの提案

図 1 に著者らが提案する口腔内原音発生振動子を用いた発声システムを示す。本システムでは、喉頭原音の代用音（以下、「代用原音」と呼ぶ）を、口腔内で振動子を用いて生成し、それを共鳴、構音させて音声を

図 1 口腔内原音発生振動子を用いた発声システム

図2 口腔内原音発生振動子の試作品。a：口腔内原音発生振動子，
b：コードレス口腔内原音発生振動子

生成する。自然な発声を実現するには、音声のエネルギーやピッチといった明瞭な音声を生成するために必要な言語的情報と、個々の発話者に特有な音声の性質（以下、「個人性」と呼ぶ）や人間の音声としての自然らしさを表す性質（以下、「自然性」と呼ぶ）といった人間らしい音声を生成するために必要な準言語的情報とを、代用原音に付与すればよい。言語的情報は、発声者に取りつけた音声情報抽出センサから発声中に得られる。音声情報抽出センサには、指の圧力を測定する指圧センサ¹¹⁾、気管孔で呼気圧を測定する呼気圧センサ^{11~13)}、筋肉の動きを測定するインピーダンス計や筋電計^{11,14,15)}などを用いる。個人性は術前の音声を分析し、スペクトル包絡特性や基本周波数の変化といった特徴¹⁶⁾を代用原音に反映させることで、自然性は代用原音に振幅や基本周波数に適当な揺らぎを与えることで¹⁷⁾、それぞれ実現する。これらの情報をコントローラで統合し、そこで生成された制御信号を口腔内原音発生振動子に与えて、代用原音を発生する。代用原音は、振動子に与える制御信号を適当に操作することでその音質を任意に変えることができるので、自然な音声を生成するために必要な情報を多く含ませることができる。

図2 aに、代用原音を発生する振動子を義歯に埋めこんだ、口腔内原音発生振動子の試作品の写真を示す。音源を義歯内に固定する利点として、電気式人工喉頭のように発声中に器具を押し当てる必要がないため、両手を自由に使えること、放射線治療で頸部皮膚が硬化した患者に対しても効果的に用いることができることが挙げられる。この振動子は信号を伝えるために有線で、この信号線が発声者に不快感を与える。この不

快感を緩和するために試作した、赤外線で振動子を無線で制御できるコードレス口腔内原音発生振動子の写真を、図2 bに示す。振動子や電気回路の他に、それらに電力を供給するために充電が可能な二次電池を義歯内に埋め込んだ。

実験Ⅰ：口腔内原音発生振動子を用いた発声の明瞭度の評価

明瞭な音声を生成するために必要な言語的情報には、一つの音節に関わる情報である音韻の特徴と、単語や文に関わる情報である韻律の特徴とがある。本稿では、口腔内原音発生振動子を用いた発声の明瞭度として音韻の特徴を検討する。

1. 対象

対象は、喉頭癌 T3N0MX と診断され、喉頭、甲状腺全摘術、両側頸部、上縦隔廓清術を施された、67 歳男性である。術後、順調に快復し社会復帰を果たしており、手術時から 10 年経過している。なお、日常生活では電気式人工喉頭を用いている。本実験の被験者になることについては、書面上で同意を得た。

2. 実験方法

表1に示した子音と母音からなるCV音節を検査語とした聴取テスト（以下、「CVテスト」と呼ぶ）を行った。また、比較するデータを得るために、同じ患者で電気式人工喉頭を用いた発声でも同様のテストを行った。まず、静かな部屋で患者に検査語を発声させ、その音声をDAT (Pioneer, D-05) に録音した後、ランダムな順序になるように編集した。次に、これを再生し、聴取者に各々が聞き取ったように回答させた。なお、回答に対して正誤の提示は行っていない。聴取

表1 CV テストの検査語のリスト

か, き, く, け, こ	が, ぎ, ぐ, げ, ご
さ, し, す, せ, そ	ざ, じ, ず, ぜ, ぞ
た, て, と	だ, で, ど
ぱ, ぴ, ぷ, ぺ, ぽ	ば, び, ぶ, べ, ぼ

者は、聴覚について特別な知識を持たない聴覚正常者である。一回のテストにつき聴取者数を10名とし、このテストを合計8回行った。

3. 実験結果

図3は、本テストで得られたすべての回答をまとめた正誤の内訳を示している。口腔内原音発生振動子を用いた発声の聴取テストの正答は46%、調音位置が同じである有声音と無声音との間（たとえば、/p/と/b/との間）での異聴は30%、その他の誤りは24%だった。同様に電気式人工喉頭を用いた発声のCVテストでは、正答は49%、有声音と無声音との間での異聴は32%、その他の誤りは19%であった。どちらの発声でも有声音と無声音の間での異聴のうち、そのほとんどでは無声音を有声音と聞き誤っている。今回のテストの結果で両者は同様の傾向を示しており、両者の正答率および有声音と無声音との異聴率をそれぞれ有意水準5%で両側t検定を行ったところ、統計学的にも有意差は認められなかった。

また、各子音ごとに異聴の傾向を調べるために、任意のテスト2回分の回答結果をもとに作成した異聴マトリクスを図4に示す。縦軸は患者に発声させた検査語を示し、横軸はそれの聴取結果を示している。

4. 考 察

図3で示した「その他の誤り」には、/p/と/b/の調音位置をもつ子音と、/t/と/d/の調音位置をもつ子音との間での異聴（たとえば、/p/を/t/や/d/に異聴）が多いことが図4からわかる。この傾向は、特に口腔内原音発生振動子を用いた発声に顕著にみられるが、その原因として、患者が口腔内原音発生振動子を用いた発声の調音動作に十分に熟達していないことが挙げられる。今後、発声訓練を重ねることで適切な調音動作を獲得すれば、このような誤りは減少することが期待される。また、口腔内原音発生振動子を用いた発声で、/k/と/g/の明瞭度は他に比べて低いが、これは調音するときに義歯が舌と干渉するためである。

今回の聴取テストで得られた結果は、北嶋らが電気式人工喉頭を用いて行ったCVテスト¹⁸⁾の結果と同様に、無声音を有声音と異聴する傾向が顕著であった。正常発声の場合、有声音と無声音との出し分けは、内喉頭筋が協調し、自動的に子音の調音と声帯の振動を

図3 CVテストの正誤の内訳。a：電気式人工喉頭のCVテスト、b：口腔内原音発生振動子のCVテスト

巧妙に調節することで実現している。特に無声音を発声するときは、主に後輪状披裂筋と披裂筋との相反的な活動によって、数10ミリ秒間、声門が一過性に開大し、喉頭原音は一時的に停止する¹⁹⁾。一方、今回の実験に用いた電気式人工喉頭と口腔内原音発生振動子では、音源の開始および停止の操作を指で行っているため、発話中に無声子音部分だけ選択的に音源を停止させることは困難である。このような代用音声でも、正常な喉頭調節のように、有声音と無声音の出し分けは音源を自動的に調節できることが望ましく、それが実現しない限り、無声音の明瞭度を飛躍的に向上させることは難しいと考える。

実験II：口腔内圧を用いた代用原音の制御の試み

一般に無声子音を生成する場合、口腔咽頭内の空気を急激に開放するため、口腔内圧や咽頭内圧が一時的に高くなる^{18,20)}。本章では、この現象を利用して、発話

a : 電気式人工喉頭を用いた発声

produced	perceived												
	p	t	k	s	f	b	d	g	z	d ₃	r	その他	判定不能
p	12		1			77		3			2	5	
t		7				7	65		8		8	2	3
k		2	9			13	1	66	2		2		5
s				42		5			50				3
f					90					5			5
b						83	4	1			5	8	
d						2	82		5		12		
g						29	6	52	6	1	1	4	1
z						5	3		88		3		
d ₃										100			

(単位：%)

b : 口腔内原音発生振動子を用いた発声

produced	perceived												
	p	t	k	s	f	b	d	g	z	d ₃	r	その他	判定不能
p	32	6				49	7	2			1	2	1
t		15				10	75						
k	4	2	8			17	3	43	5		1	10	7
s				73					23				3
f					85					10		5	
b	13	3				74	6	1		1	1		1
d						22	72	5				2	
g	2		6			22	2	33	1		3	23	8
z		2		2			3		93				
d ₃					15					85			

(単位：%)

図4 CVテストから得られた異聴マトリクス

中に口腔内圧を測定しながら無声子音部を判別し、その部分では代用原音を適当に制御することで、無声子音の明瞭度を向上させる方法を試みる。

まず、代用原音の制御方法を具体的に決定するために、無声子音部と有声子音部との判別に用いる口腔内圧の閾値の検討と、その閾値を用いた最適な制御方法の検討を行う。次に、これらの検討から決定した制御方法を用いて、口腔内原音発生振動子で発声した音声の明瞭度をCVテストで評価する。

なお、本実験の対象は、実験Iで対象とした患者である。

1. 無声子音部と判別する口腔内圧の閾値の検討

1) 実験方法

無声子音部を口腔内圧の変化から判別するために、圧力センサ(共和電業, PSS-05 KAE)を埋めこんだ義歯を装着して、電気式人工喉頭で発声させたときの口

腔内圧を測定した。

2) 実験結果

図5 aは「この畳の部屋は弟と友達とで建てたものです」と発声させたときの音声波形で、図5 bはそのときの口腔内圧である。図5 bから、無声子音である/t/や/s/の部分では、口腔内圧は一時的に上昇し、そのピークは10 gf/cm²から50 gf/cm²になる。一方、それ以外の部分では、口腔内圧は常に2.5 gf/cm²以下と上昇しない。この結果から、無声子音か有声子音かを判別するとき用いる口腔内圧の閾値は2.5 gf/cm²とした。なお、この閾値は発声者によって個人差があると考えられるため、個別に設定される必要があると考える。

2. 代用原音の制御方法の検討

1) 実験方法

有声音と無声音との識別には、語頭での子音を生成

図5 電気式人工喉頭を用いて発声したときの音声波形と口腔内圧。「この畳の部屋は弟と友達とで建てたものです。」と発声した

した瞬間から声帯が振動するまでの時間 (Voice Onset Time; 以下「VOT」と略す) と第一フォルマント (以下, 「F1」と略す) の遷移とが大きく影響する^{21~23)}。口腔内圧を用いた代用原音の制御方法の検討として, VOTと遷移区間の影響を調べるために, 音声分析ソフト (KAY, Multi Speech) を用いて, VOTとF1の遷移区間 (以下, 「遷移区間」と略す) が異なる音声波形を作成し, それらの聴取テストを行った。

図6 aは, 口腔内圧が 2.5 gf/cm^2 以上になったときに代用原音を停止させる制御で, 口腔内原音発生振動子を用いて/ta/と発声したときの音声波形(「条件1」とする), 図6 bはそのサウンドスペクトログラムを示している。この音声には, 子音部分と同程度の長さである20 ms程度のVOTがみられ, その後には明瞭な遷移区間がみられる。この音声波形をもとにして, 図7 aに示すように, 遷移区間の一部分を無音区間に Δt ミリ秒間だけ置きかえることで, VOTをさらに $\Delta t = 20 \text{ ms}$ および $\Delta t = 50 \text{ ms}$ だけ長くした波形(それぞれを「条件2」, 「条件3」とする)を作成した。なお, Δt を50 ms以上とると発声者が発声の際に違和感を覚えることや, 子音/t/と母音/a/が完全に分断されて聞こえることから適当ではない。また, 遷移区間の影響を排除するために, 図7 bに示すような, 遷移区間を完全に削除し子音部分と母音部分とを無音区間 $\Delta t = 20 \text{ ms}$ でつないだ波形(「条件4」とする)を作成した。

口腔内原音発生振動子を用いて患者に発声させて得た17個の条件1の波形をもとに, それぞれで条件2か

図6 口腔内圧が 2.5 gf/cm^2 以上で音源を停止させる制御をしたときの/ta/の音声波形(条件1)とそのサウンドスペクトログラム。a: 音声波形, b: サウンドスペクトログラム

図7 口腔内圧を用いた代用原音制御の予備検討に用いた音声波形。a: 図6 aの音声波形の子音部分のあとに Δt の無音区間を設けた音声波形(条件2, 条件3), b: 図6 aの音声波形の遷移区間を完全に削除して $\Delta t = 20 \text{ ms}$ の無音区間で子音部分と母音部分をつないだ音声波形(条件4)

ら条件4の波形を生成した。

このようにして生成した17組の/ta/について、実験1と同様に聴取者10名による聴取テストを行った。

2) 実験結果

図8に各条件下での聴取テストの正誤の内訳を示す。正答と/da/への異聴は、条件1ではそれぞれ15%と65%、条件2ではそれぞれ43%と44%、条件3ではそれぞれ51%と38%、条件4ではそれぞれ72%と21%であった。

3) 考察

遷移区間を完全に削除した条件4の音声の正答率は70%以上で、その明瞭度が最も高いことから、遷移区間が無声音を有声音に聞き誤る大きな要因の一つであることがわかる。また、遷移区間を無音区間に置きかえる条件2や条件3の方法を用いても正答率は条件1と比べて2倍以上になり、明瞭度は向上している。この結果から、遷移区間の影響を小さくするために、無音区間で置き換えて、VOTを適当に長めにとるような代用原音の制御を行えば、無声音の明瞭度を向上できることが示唆される。

3. 口腔内圧で制御した代用原音を用いた発声の明瞭度の評価

1) 制御方法および実験方法

これまでの検討で得られた結果から、発話中の口腔内圧が2.5 gf/cm²以上のときに代用原音を停止させ、

条件1：口腔内圧が2.5 gf/cm²で音源を停止させる制御を行った音声波形

条件2：条件1の子音部分のあとにΔt=20msの無音区間を設けた音声波形

条件3：条件1の子音部分のあとにΔt=50msの無音区間を設けた音声波形

条件4：条件1の音声波形の遷移区間を削除してΔt=20msの無音区間で子音と母音をつないだ音声波形

図8 各条件下での/ta/の聴取テストの正誤の内訳

口腔内圧が2.5 gf/cm²以下に減少した後、さらに遷移区間として35ms間代用原音を引き続き停止させる方法を代用原音の制御に用いた。この制御のもとで、表1を検査語としたCVテストを行った。一回のテストにつき聴取者数は10名で、テストは合計3回行った。

2) 実験結果

このCVテストで得られたすべての回答をまとめた正誤の内訳を図9に、異聴マトリクスを図10に示す。このテストでの正答は58%、有聲と無聲との間の異聴は12%、その他の誤りは30%であった。

3) 考察

図9で示した結果を、図3で示した代用原音の制御をしなかった場合の聴取テストの結果と比べると、正答が12%増加し、有聲音と無聲音との間での異聴が18%減少しており、口腔内圧を用いた代用原音の制御が音節の明瞭度を向上させることに有効であることがわかる。なお、有意水準1%で両側t検定を行ったところ、制御の有無によって、統計学的にも有意差が認められた。

図3で示した代用原音の制御をしなかった場合の聴取テストの結果と比べると、「その他の誤り」は6%増加した。この原因の一つとして、/z/や/d₃/のように有聲音でも、音節によっては口腔内圧が上昇するため、有聲音と無聲音との判別を誤ったことが挙げられる。今回の実験で用いた制御方法では、有聲音と無聲音との判別を、口腔内圧に単純に一つの閾値を設けることで行ったが、有聲音発声時と無聲音発声時との口腔内圧波形の特徴の違いに着目し、たとえば口腔内圧の微

図9 口腔内圧で代用原音を制御したときのCVテストの正誤の内訳。口腔内圧が2.5 gf/cm²以上のとき代用原音を停止させ、口腔内圧が2.5 gf/cm²以下に回復後、さらに遷移区間として35ms間、代用原音を停止させる制御を行った

		perceived												判定不能
produced		p	t	k	s	f	b	d	g	z	d ₃	r	その他	
	p	74	6				16					2	2	
	t	27	33				10	27		3				
	k	12	2	28			2	12	40			4		
	s				88					8			5	
	f					100								
	b	6					80	6	2			6		
	d		3				17	63	3	10		3		
	g	2	2	4			20		62			6	4	
	z				18	3		10		48		18	5	
	d ₃			10			30		40		0		20	

(単位：%)

図 10 口腔内圧で代用原音を制御したときの
CV テストから得られた異聴マトリクス

分値を考慮した制御やニューラルネットワークを用いてそれぞれのパターンの違いを認識させることで、その判別の精度を向上させればさらに明瞭な発声が可能になると考える。また、/k/の明瞭度は改善されていないが、/k/を発声するときは、口腔内圧ではなく咽頭内圧が高くなるため、口腔内圧を用いた制御は有効ではない。

おわりに

本稿で著者らは、口腔内原音発生振動子を用いた無喉頭者の発声システムの提案、試作、評価を行った。試作した口腔内原音発生振動子を用いた発声の明瞭度と、電気式人工喉頭を用いた発声の明瞭度とを CV テストで評価した結果、両者とも正答率は 50 % 弱で同程度であり、無声音と有声音との間で異聴する誤答率が約 30 % と、無声音を有声音に異聴する傾向が顕著にみられた。そこで、口腔内原音発生振動子を用いて明瞭な無声子音を生成するために、発声中の口腔内圧を測定し、それを用いて有声音と無声音とを区別して代用原音を制御することを試みた。その結果、CV テストでの正答率は 10 % 以上増加し、有声音と無声音との間での異聴率は 15 % 以上減少したことから、この方法が本システムを用いた発声の明瞭度を向上させるために有効であることがわかった。

本研究を実施するに当たって、実験に協力して頂いた中西秀則氏に深謝する。

なお、本研究は医薬品機構の「保健医療分野における基礎研究推進事業」によるものである。

文 献

- 坂倉 淳：人工喉頭音声。音声言語医学，39：443-449，1998。
- 高藤次夫：喉頭摘出者の発声の現状。JOHNS，5：527-531，1986。
- 馬谷克則，鶴田至宏，吉野邦俊，他：無喉頭者の全国統計調査(1981)。日気食会報，36：261-266，1985。
- 廣瀬 肇，澤島政行，吉岡博英：食道発声法による語音調節—有聲・無聲の分別を中心に—。音声言語医学，24：194-203，1983。
- 小林範子：食道音声の訓練。音声言語医学，39：456-461，1998。
- 西澤典子，貝須田康：気管食道瘻音声，食道音声—新声門調節をめぐって—。音声言語医学，39：468-476，1998。
- 高橋宏明，吉田政雄，津村 滋，他：代用音声の基本周波数の可変性に関する研究。音声言語医学，20：147-152，1979。
- 高橋宏知，中尾政之，大草武徳，他：口腔内原音発生振動子を用いた無喉頭者の音声発生システムの開発。音声言語医学，40，1：53，1999。
- 高橋宏知，中尾政之，大草武徳，他：口腔内原音発生振動子を用いた人工喉頭の開発。第 38 回日本 ME 学会大会論文集，1 D 2-1：126，1999。
- 中尾政之，高橋宏知，大草武徳，他：口腔内原音発生振動子と外耳内骨動マイクを用いた音声発生システムの開発。日本機械学会第 75 期通常総会講演会講演論文集(IV)：25-26，1998。

- 11) 高橋宏知, 中尾政之, 大草武徳, 他: 口腔内原音発生振動子における音源情報抽出センサの開発. 第44回日本音声言語医学会総会学術講演会予稿集: 146, 1999.
- 12) 上見憲弘, 伊福部達, 高橋 誠, 他: 呼気圧によるピッチ周波数制御機能のついた人工喉頭の開発. 医用電子と生体工学, 33: 7-14, 1995.
- 13) 上見憲弘, 伊福部達, 高橋 誠, 他: ピッチ周波数制御型人工喉頭の提案とその評価. 電子情報通信学会論文誌, J 78-D-2: 571-578, 1995.
- 14) 関 恵貞, 高橋 誠, 西澤典子, 他: 胸骨舌骨筋の筋電位による電気人工喉頭の制御. 医用電子と生体工学, 32: 297-305, 1994.
- 15) 森田龍彌, 松村雅史: 頸部電気インピーダンスを用いた音声ピッチの推定. 電子情報通信学会論文誌, J 76-A: 273-280, 1993.
- 16) 古井貞熙: 声の個人性の話. 日本音響学会誌, 51, 11: 876-881, 1995.
- 17) 八幡英子, 伊福部達: 音声のピッチパターンを考慮した電気人工喉頭. 音声言語医学, 30: 309-315, 1989.
- 18) 北嶋和智, 藤田文香, 花田 誠: 電気人工喉頭の明瞭度. 音声言語医学, 29: 156-160, 1988.
- 19) Hirose, H., Gay, T.: The activity of the intrinsic laryngeal muscles in voicing control-an electromyographic study-. *Phonetica*, 25: 140-164, 1972.
- 20) Isshiki, N., Tanabe, M.: Acoustic and aerodynamic study of a superior electrolarynx speaker. *Folia Phoniatrica* 24: 65-76, 1972.
- 21) Lisker, L.: Is it VOT or a first formant transition detector?. *J. Acoust. Soc. Ame.*, 57: 1547-1551, 1975.
- 22) Lisker, L., Abramson, A. S.: A crosslanguage study of voicing in initial stops: Acoustical measurements. *Word*, 20: 334-422, 1964.
- 23) Kenneth, N. S., Klatt, D. H.: Role of formant transitions in the voiced-voiceless distinction for stops. *J. Acoust. Soc. Ame.*, 55: 653-659, 1974.

別刷請求先: 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻

畑村・中尾研究室

高橋宏知