

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500664

研究課題名(和文) ハンズフリー発声支援装置に関する研究

研究課題名(英文) A hands-free user interface study of speech enhancement system

研究代表者

松井 謙二 (MATSUI, KENJI)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：30613682

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：喉頭がんなどにより発声困難になった方々が用いる電気式人工喉頭に関して、まず、手首や指のわずかな動きで抑揚を制御できるインタフェースを開発し、次に、装置を小型軽量化して手で保持することなく首に安定して装着可能な構造の人工喉頭を試作した。これらの結果を用いて、トータルシステムのユーザー評価実験を行った結果、新しい発声支援装置として使用が可能と思われるとの良好な評価結果が得られ、装置の有効性が確認できた。

研究成果の概要(英文)：People who have had aryngectomies have several options for the restoration of speech, but no currently available device is satisfactory. This study was undertaken to explore the feasibility of using hands-free interface with small, light weight electro-larynx which does not need to hold by hands. The device was tested in a practical environment by electro-larynx users. Results of the subjective evaluation indicated that the proposed system was well accepted.

研究分野：音声信号処理

キーワード：発声支援 人工喉頭 ハンズフリー

1. 研究開始当初の背景

喉頭がんなどによって喉頭を摘出した方や、何らかの障害で発声が困難、あるいは、声が出にくくなっている方のために、電気式人工喉頭や小型拡声装置などの発声支援装置が活用されている。これらのユーザーの多くがシニア世代である。高齢化社会の進展に伴い、レジャーや仕事にアクティブに取り組むシニア世代が多く見られるようになってきた。このような方々にとっては多様な場面で「おしゃべり」を楽しめることは大変重要であり、高騒音化でも使用可能な利便性の良い発声支援装置が望まれている。

2. 研究の目的

喉頭摘出者が電気式人工喉頭を発声の補助器具として用いる場合、日常生活において、以下が主要課題となる。片手が常に機器の保持/操作に必要、声の高さが平坦か簡単な抑揚付与のみ、出力音量は小さく騒音下での会話が困難。本研究の目的は、「ハンズフリーでの機器操作」、「アクセント付与や疑問文のためのピッチ制御」、「豊かな音量での会話」、が可能な発声支援装置の開発である。このために、体の部分的な動きを利用した発話/ピッチ制御インタフェースの研究、出力音声を良好な S/N 特性で拡声する拡声機能の研究を行い、ウェアラブル可能なトータルシステムのプロトタイプにより有効性を検証する。

3. 研究の方法

真に役に立つ発声支援装置を開発するためには、ユーザー視点の開発プロセスは極めて重要である。本研究では、デザイン思考的アプローチ、およびイノベーション手法の一つである Foresight & Innovation を参考にしつつ、常にユーザーである銀鈴会の方々のご意見を伺いながら研究開発を行った。

4. 研究成果

(1) ユーザーの持つ課題の理解

先ず、アンケート調査およびインタビューで現状の課題抽出を行った。その結果の概要を以下に示す。

【周囲騒音について】 駅や車内など騒音下での会話が困難

【声質について】 声の高さ、声質を良くしたい/自分の声なので変えたくない、という両方の希望がある。

【機器の装着について】 目立たない、見た目違和感のない小型、軽量でポケットやカバンに入る装置を期待する。

【電気式人工喉頭の操作について】 抑揚を付けるボタンはあるが操作が困難。ハンズフリー制御が良いが、喉への当て方が難しいため振動体の取り付け方に工夫が必要。

(2) ハンズフリーユーザーインタフェースの開発

以上の課題解析結果をもとに、喉頭摘出者が用いる従来の電気式人工喉頭 (EL) に対して、1) ハンズフリーでの機器操作、2) 韻律生成のためのピッチ制御が可能で、かつ、3) 小型軽量低コストで目立たないインタフェ

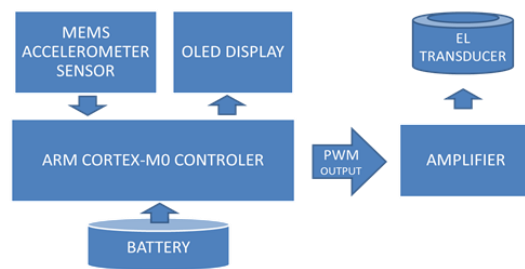


図1 試作装置の構成

ースを持った発声支援装置の開発を目指した。色々な手法の検討の結果、会話時にハンドジェスチャを用いることは一般的であり、違和感が少ないと考え、体の部分的な動きによる加速センサ出力を利用した発話/ピッチ制御手法のプロトタイプによる有効性の検証を行った。

本研究では、3軸加速度センサを用いた小型 EL コントローラを試作した。これを手首に装着して前腕の動きを用いる制御手法を2種類提案する。

試作装置は図1のように構成した。

① Linear mapping 方式

図2に Linear mapping 方式 (以下、LM 方式) における前腕の動きとピッチ制御の関係を示す。水平位置から EL が ON になり、上方に向かってピッチが高くなる。水平位置から下方-25° で EL が OFF になる。この 0° と -25° のヒステリシス特性は、安定した EL の ON/OFF に重要である。また、ピッチレンジは HIGH、MID-HIGH、MID-LOW、LOW の4種類から選択できるようにしている。

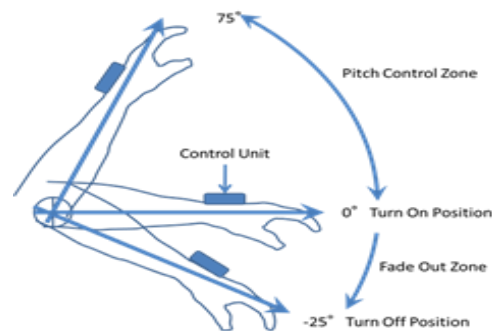


図2 Linear Mapping 方式

② F0 model-based 方式

F0 model-based 方式 (以下、FM 方式) では F0 テンプレートを用いてピッチ制御を行う。その F0 テンプレート $F_0(t)$ の作成には藤崎モデルのフレーズコンポーネントを用いた。

$$\ln F_0(t) = \ln F_{min} + A_p \cdot G_p(t)$$

$$G_p(t) = \alpha^2 \text{texp}(-\alpha t)$$

それぞれのパラメータの意味を以下に示す。
 F_{min} : 話者のピッチの基底周波数
 A_p : フレーズコンポーネントの強さ
 α : フレーズ制御機構の固有角周波数

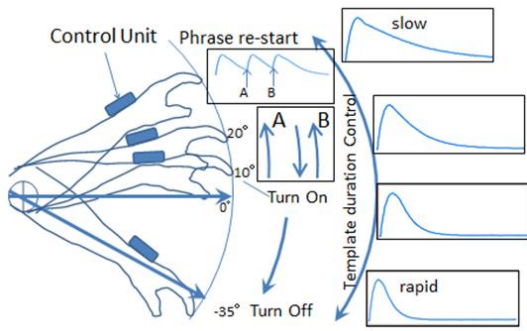


図3 F0 model-based 方式

図3に FM 方式における前腕の動きとピッチ制御の関係を示す。水平位置から上方10°でELがONになり、F0テンプレートに従ってピッチが変化し、上方に向かってピッチの下降が緩やかになる。水平位置から下方-35°でELがOFFになる。また、水平位置から上方20°より上に腕を上げるとフレーズコンポーネントを立て直すことができる。(A)この後、再度フレーズコンポーネントを立て直すには一度水平位置から上方10°よりも下に腕を下げてから、水平位置から上方20°より上に腕を上げる必要がある。(B)

③ ロック機能

加速度センサのY軸出力を用いて2Gの加速度を検出することでこのELコントローラのenable/disable切り替え機能を実現している。

④ 評価実験

2種類のピッチ制御手法および従来のELを用いた発声比較実験を行った。10文の評価文を2名の健常者が3種類の方式で発声し、それを録音した。2名の健常者はいずれの方式の発声においても熟練している。この録音音声を用いて10名の評価者に3つの項目、1) 明瞭性、2) 自然性、3) 安定性を5段階(1~5)で評価してもらった。

図4に示した評価実験の結果から、LM方式とFM方式はいずれも従来のELと比べ自然性の向上が見られた。

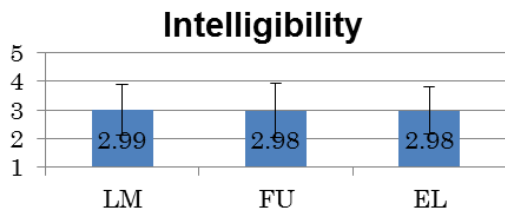


図4(a) 明瞭性の評価の平均と標準偏差

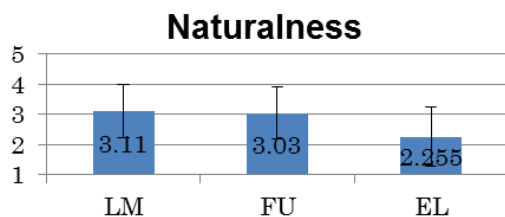


図4(b) 自然性の評価の平均と標準偏差

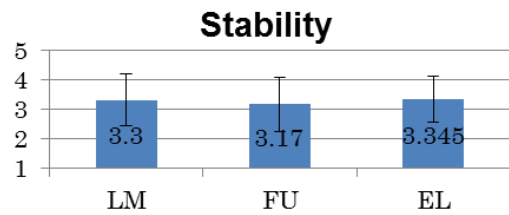


図4(c) 安定性の評価の平均と標準偏差

(3) 指の動きを用いたインタフェースの開発

前腕の動きによる加速度センサ出力を利用した発話/ピッチ制御手法を評価し、自然性の向上が確認された。前腕の動き以外の検討として、指の動きを用いることでさらに目立たない操作が可能と考え、指の動きを用いたピッチ制御の評価実験を行った。

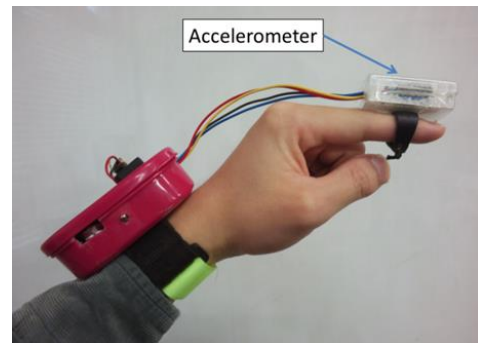


図5 指の動きを用いたELコントローラ

図5に今回の実験用に試作した小型ELコントローラを示す。加速度センサを指先に装着し、マイコン基板、バッテリー、EL駆動部はケースに入れて手首に装着した。

図6に指の動きとピッチ制御の関係を示す。水平位置BでELがONになり、F0テンプレートに従ってピッチが変化し、上方に向かってピッチの下降が緩やかになる。水平位置から下方40°AでELがOFFになる。また、水平位置から上方10°より上Cに上げるとフレーズコンポーネントを立て直すことができる。この後、再度フレーズコンポーネントを立て直すには一度Bまで下げてからCへと動かす。

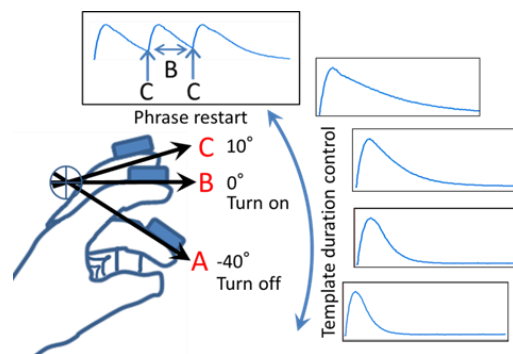


図6 指の動きとピッチ制御の関係

指を用いたインタフェース試作機の評価を行った。評価は従来の EL および以前開発した前腕の動きによって制御できるプロトタイプとの比較を行う。なお、前腕の動きによって制御するピッチ制御方式も FM 制御方式を用いた。

評価用音声は、10 文の評価文を 2 名の健常者が 3 種類の方式で発声し、それを録音して用いた。2 名の健常者はいずれの方式の発声においても熟練している。この録音音声を用いて 5 名の評価者に 3 つの項目、1) 明瞭性、2) 自然性、3) 安定性を 5 段階 (1~5) で評価してもらった。

図 7 に評価結果を示す。FM 方式を用いた 2 つのプロトタイプは従来の EL に対して自然性の向上が見られた。また、指の動きを用いても前腕の動きによる制御と同様の評価が得られることが分かった

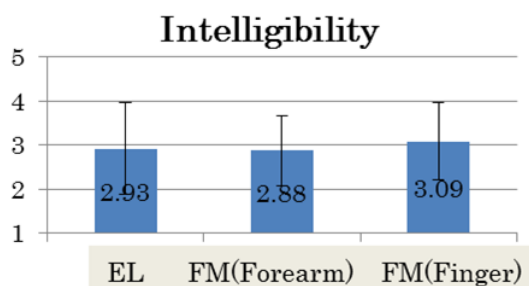


図 7 (a) 明瞭性に関する評価結果

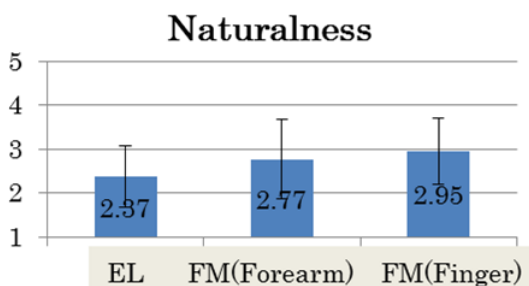


図 7 (b) 自然性に関する評価結果

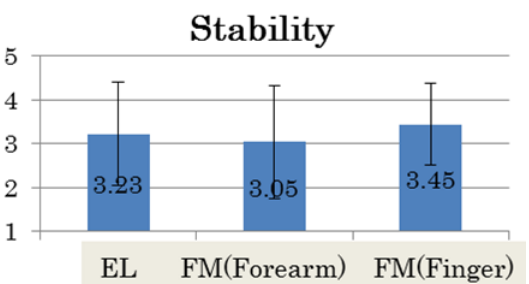


図 7 (c) 安定性に関する評価結果

(4) EL トランスデューサ装着に関する課題

今までの研究から、ハンズフリー発声支援装置の実用化には、ユーザインタフェースのみならず、振動体の装着方法が極めて重要である。そこで振動体の安定した装着を実現するための検討を行った。

今までに行った EL ユーザに対するヒアリン

グ、アンケート結果から、EL トランスデューサの装着方法に関して、次のような課題があることが分かっている。

- 最も明瞭な発声ができる最適な装着位置 (Sweet Spot) への安定した装着
- 姿勢や発話に応じた押し当て圧の調整
- 小型軽量で目立たない外觀
- 容易な装着

① (株) 電制による提案手法

(株) 電制が平成 23 年度に行った研究では、前後移動と、上下回転が可能なロッドを持った固定バンドを用いた振動板の装着方法が提案された。また、振動板はロッド上を移動可能で、回転もできる。

この提案方式では、柔軟な個人適応が期待出来る。しかし、装着に手間がかかるという課題が挙げられている。また、装置が目立ってしまうこと課題も考えられる。

② Griffin Laboratories 「HandsFree」

「TruTone」という EL の販売をしている Griffin Laboratories から、「HandsFree」というハンズフリーでの発声を可能にする EL ホルダーが販売されている。襟元に EL を垂直に固定し、首を引いて、振動板を押し当てると、EL のボタンが押され、発声ができる。レビュー数が不足していることから実用性は不明だが、Sweet Spot が下顎正面にある人でないと明瞭な発声ができないと考えられる。

③ 口腔内振動子

高橋・中尾らの研究では、口腔内原音発声振動子が提案された。

口の中に振動体を入れてしまうので、目立たないという点では非常に優れているが、衛生面や装着・メンテナンスの容易さに課題があると考えられる。

④ 取り組み内容

2012 年度の研究では、図 8 のように、サポートバンドによって 1 つの振動体を装着する装着方法を提案した。

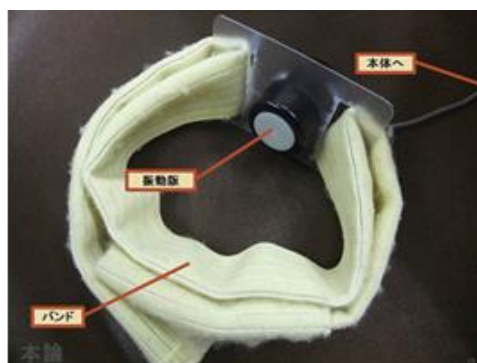


図 8 サポートバンドによる振動体装着

この装着方法は、振動板が大きくて目立つ、首を動かしたときに振動板が Sweet Spot からずれる、漏れ音が発生しやすいといった課題があった。

2013年度には、前節の提案手法では、振動板が大きく目立つことから、図9のような小さな振動板を開発し、パワー不足を補うため、2つの振動板を用いる手法を提案した。



図9 小型振動体の製作例

しかし、この提案方式では、2つの振動体両方を適切に装着することが難しく、漏れ音が増加するなどの課題があった。

次の提案手法は、図10のような首かけ型の装着方法である。この装着方法の特徴は、装着の容易性である。振動板は前節の提案手法で用いたものを流用した。



図10 首かけ型の装着方法

⑤ 装着実験

公益社団法人 銀鈴会にて提案手法による装着実験を行った。

装着実験を行った EL ユーザから感想および意見を聞いたところ、装着が容易であることは高評価であったが、次のような要望が挙げられた。

- 服の襟の中に隠せるようなもっと目立たない外観にしてほしい
- 下顎正面に Sweet Spot がある人が多いので、振動板は1つの方が良い
- 首を動かしたり、姿勢を変えたりしても、振動板の位置がずれないようにしてほしい。
- Sweet Spot や首周りの大きさの違いにもっと対応できるようにしてほしい
- 振動体とコントローラ間をワイヤレスにしてほしい
- 発話時のみ、振動板が首に密着するようにしてほしい

今回の意見の中で、多くの EL ユーザーの Sweet Spot が下顎正面に位置するという話が聞かれた。このことから、2つの振動板を用いる方法は大多数のユーザーにとって不適切であると考えられる。

また、装置が目立ってしまうということを非常に気にしておられる方が多いことが分かった。装着実験の結果より、一つの振動板を用いて、Sweet Spot に容易に安定して装着する方法を考案する必要があると考えられる。

また、目立たない外見の実現が EL ユーザーにとって非常に重要な課題であることが分かった。ハンズフリー発声支援装置の実用化には、この課題を解決することが必要不可欠である。

さらに、個人によって首の形や Sweet Spot の位置が異なることから、(株)電制の提案手法のように調整機能を設ける、個人の首の形に合わせてオーダーメイドするなどの対策が必要である。

(5) トータルシステムの開発

① 振動体の装着方法

EL ユーザ調査によると、振動体は、最適位置(Sweet Spot)に安定して装着でき、漏れ音が無く、目立たない外観であることが重要である。また、振動体を当てる場所に関しては下顎正面と、正面から左右どちらかにずらした位置の2種類に分類できることが分かった。図11は、振動体を固定するためのバンドを細いものに変更し、目立ちにくく、かつ下顎正面にも振動体を装着しやすくした試作装置である。振動体はより小型軽量で漏れ音が低減できる構造にした。また、バンドをできるだけ振動体の首に当たる側に近い位置に取り付けることで装着安定性を改善した。



図11 細いバンドを用いたネックバンド

また、振動体の小型化による出力低下を補うため喉頭マイクと拡声機能を付与し、トータルシステムとして検討中である。

改良した振動体と、市販の EL (SECOM マイボイス)を用いた健常者の口唇位置での発声音声を周波数分析した。共に基本周波数は 80Hz で、市販の EL は最大出力、開発した振動板は 0~6V の矩形波で駆動させた。

評価結果より、改良した振動体は、市販の EL と比べると、やや高域が強いが音圧は市販の EL と同程度であった。

② 銀鈴会での評価

銀例会の師範級の方に装着してもらい、図 1 2 に示すように使用感評価を行った。「安定した装着感があり、使用できそうに思われ

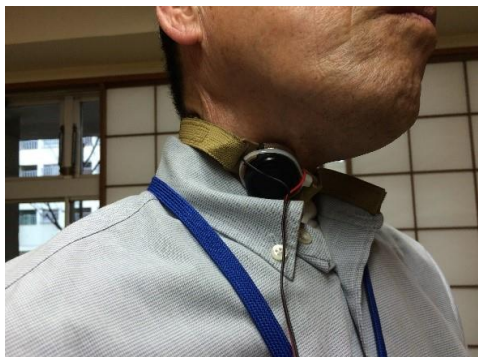


図 1 2 銀例会による使用感評価

る。」とのご意見が得られた。また、喉頭マイクで録音した音声も明瞭性を確保できることが確認できた。

(6) まとめ

今後、詳細なユーザ評価を行いさらなる課題の明確化を行う。振動面の小型化による装着の安定化を検証する一方、振動体の小型化による出力低下を補うため音響ピックアップと拡声機能の付与を行い、発声支援システムとして実用化に向けた開発を行う。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

① Kenji Matsui, Kenta Kimura, Alberto Pérez, Sara Rodríguez, Juan M. Corchado, “Development of electrolarynx by Multi-agent Technology and Mobile Devices for Prosody Control”, The PAAMS Collection Communications in Computer and Information Science Vol 430, 2014, pp 54-65 (査読有)

② Kenji Matsui, Yoshihisa Nakatoh, Yumiko o. kato, “Development of Hand Gesture Controlled Electrolarynx”, Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers, vol11 pp48-51, 2013 (査読有)

〔学会発表〕(計 10 件)

① Takafumi Hei, Yuto Tanaka, Mitsunori Mizumachi, Yoshihisa Nakatoh, Kenji Matsui, “Study of Natural-Voice-Like Vibration Sound for Electrolarynx”, Proc. ICISIP 2014, pp.159-162, 2014 (査読有)

② 木村建太, 松井謙二, 中藤良久, 加藤弓子 “モーションセンサを用いた発声支援装置用インタフェースの検討”, 日本音響学会

2014 年春季研究発表会 2014 年 3 月 10 日

③ 木村建太, 松井謙二, 中藤良久, 加藤弓子, “ハンズフリー発声支援装置の装着方法に関する検討”, 日本音響学会 2014 年秋季研究発表会 2014 年 9 月 3 日

④ 田中裕人, 伊賀上祐彰, 水町光徳, 中藤良久, 松井謙二, “フォルマント周波数の補正に基づく高齢者音声の明瞭性改善”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会 2014, p79, 2014

⑤ 姫野剛至, 屏貴文, 田中裕人, 水町光徳, 中藤良久, 松井謙二, “電気式人工喉頭を用いた歌声の音質改善”, 産業応用工学会全国大会 2014 講演論文集, pp16-17, 2014

⑥ Kenji Matsui, Yuma Otsuki, Yoshihisa Nakatoh, Yumiko o. kato, “A Preliminary User Interface Study of Speech Enhancement System”, Proceedings of the 1st International Conference on Industrial Application Engineering 2013, March 27, 2013 (査読有)

⑦ Kenji Matsui, Kenta Kimura, Yoshihisa Nakatoh, Yumiko O. Kato, “Development of Electrolarynx with Hands-Free Prosody Control”, The Proceedings of the 8th ISCA Speech Synthesis workshop, Barcelona, Spain 2013 (査読有)

⑧ 松井謙二, 大槻勇真, 中藤良久, 加藤弓子, “発声支援装置向けハンズフリーユーザーインタフェースに関する検討”, 日本音響学会 2013 年春季研究発表会 2013 年 3 月 13 日

⑨ 松井謙二, 木村建太, 中藤良久, 加藤弓子, “ハンズフリー発声支援装置のピッチ制御手法に関する検討”, 日本音響学会 2013 年秋季研究発表会 2013 年 9 月 25 日

⑩ 屏 貴文, 田中 裕人, 水町 光徳, 中藤 良久, 松井 謙二, “音源波形の違いが電気喉頭音声に与える影響の検討”, 産業応用工学会全国大会 2013, p24-25

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松井 謙二 (Kenji Matsui)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：30613682

(2) 研究分担者

中藤 良久 (Yoshihisa Nakatoh)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：10599955

(3) 水町 光徳 (Mitsunori Mizumachi,)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90380740

(4) 加藤 弓子 (Yumiko O. Kato)

聖マリアンナ医科大学・医学部・研究員

研究者番号：10600463