

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月20日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21510181

研究課題名（和文）検疫における感染症発症者検知のため非接触スクリーニングシステム構築に関する研究

研究課題名（英文）A non-contact screening system to detect infected individuals at quarantines.

研究代表者

松井 岳巳 (MATSUI TAKEMI)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：50404934

研究成果の概要（和文）：本研究は入国者の感染の有無を5秒以内で診断するためのシステム開発を目的として、厚生労働省・那覇検疫所長（当時）の依頼により開始した。従来は、インフルエンザ患者と健常者を線形判別関数を用いて判別を行っていたが、判別条件が明確でない場合にも判別可能なスクリーニングシステムを開発した。本システムはニューラルネットワークと K-means 法を併用し、事前学習なしで判別が可能である。また、従来の手法に加え光学的手法で、血液の酸素飽和度を測定する機能を追加し、これにより、より高い判別精度を達成した。改良を加えたシステムを協力病院でインフルエンザの入院患者に対して試験運用する機会を得た。被検者の顔のサーモグラフィの熱画像を自動抽出し、体表面温度の平均値を求め、同時に計測した心拍・呼吸数、酸素飽和度を併用して、感染症患者と健常者のスクリーニングを行うシステムを実際に試作し、実地運用を行った。システムは体表温測定用のサーモグラフィ、心拍測定用のレーザードップラー血流計、呼吸測定用のマイクロ波レーダーと、酸素飽和度測定センサー、PCによって構成される。自衛隊中央病院の感染症病棟において、インフルエンザの入院患者を対象として、本システムを実地運用した。その結果、本システムを用いて得られた呼吸数、心拍数、体表面温度より、インフルエンザ患者と健常者を判別する関数が得られ、線形判別よりも高い精度で自動判別が可能となった。本システムは、タミフル等の抗インフルエンザ薬を服用し、平熱に戻った患者においても、本システムは高精度に判別可能であった。当初目標に掲げた通り、実用可能なシステムを試作すると共に病院で実地運用を行い、従来よりも高い精度でインフルエンザ患者と健常者を判別可能であることが検証された。現在本システムは机上に簡単に設置できる大きさまで小型化されており、実用化が期待される。

研究成果の概要（英文）：A number of countries have applied thermography at international airports in order to detect infected passengers. However, a screening system using thermography alone has been reported to be insufficient in practical settings, since infected passengers may take antipyretics. In order to conduct more accurate and fast mass screening, we developed a non-contact screening system that can perform human medical inspections within ten seconds. The screening system monitors not only temperature but also heart and respiratory rates. By using three parameters, the detection accuracy of the system improved dramatically. For instance, in our case control study, the linear discriminant analysis (LDA) of the proposed system is found to be effective in distinguishing influenza patients regardless of their temperatures. The results showed PPV rate of 93%, which is notably higher compared to the conventional screening method using only thermography. Moreover, in our latest study, we developed a portable screening system using SOM with K-means clustering algorithm, so that entry screening can be conducted while passengers are onboard with increased accuracy. The system showed higher sensitivity of 98% and negative predictive value (NPV) of 96%. The system can be applied to future onboard entry screening to safeguard public health at the borders.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：社会システム工学・安全システム

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：人間工学、安全システム

### 1. 研究開始当初の背景

近年、新型インフルエンザの大流行（パンデミック）や新たな感染症に備え、新たな検疫システムの開発が重要視されている。従来の検疫は、健康状態の自己申告とサーモグラフィによる体表面温度のチェックが中心であるが、この方法は時間がかかり、大きな空港では全員を調べることができないのが現状である。また外気の温度や飲酒、解熱剤の服用などにより、体表面温度に影響することで誤判別の可能性があることなどが問題点としてあげられている。そのため、感染症の流行を最小にとどめる新しい検疫システムの構築が急務となっている。

### 2. 研究の目的

日本国内において、感染症の蔓延を防ぐためには、感染症患者を早期に発見することが有効であると考えられる。海外からの渡航者に対し、スクリーニングを行うことは、多様な感染症病原体の国内への流入を防ぐ上で最も有効な手段であると考えられる。近年、外国人入国者および日本人出国者の数は、年々増加傾向にあることや、重症急性呼吸器症候群(SARS)や鳥インフルエンザの流行以降、世界規模で新興感染症の流行が懸念されていることから、感染症病原体の国内への流入を防ぐための対策が取られている。現在、日本国内の主要空港ではサーモグラフィを用いた有熱者のスクリーニングが行われており、一定の成果を挙げていることが報告されているが、今後、さらなる感染症蔓延を防ぐためには、よりきめ細かな検疫体制を構築し、精度の高い検疫を行う必要があると考えられる。

本研究では、感染症の発症に伴う呼吸数、心

拍数、体温の上昇を10秒以内で計測し、高感度で有症者を探知する新たな検疫システムを開発した。このシステムで求めた呼吸数、心拍数、顔表面温度の各パラメータを用いて、感染の有無を自動的に判断するスクリーニングシステムを開発し、インフルエンザ入院患者を対象として病院において試験運用を行う。

### 3. 研究の方法

約10秒で体温・心拍数・呼吸数を計測し、これらの生理的データを併用した高精度の感染症スクリーニングシステムを開発した(図1)。このシステムはサーモグラフィを用いて顔表面温度を計測し、レーダを用いて呼吸数、レーザー光または可視光を用いて手掌の脈を測ることにより、感染症の発症に伴う体温、呼吸数、心拍数の増加を計測し、これと判別関数を用いて感染者と健常者を判別する。試作したシステムの試験運用を自衛隊中央病院のインフルエンザ入院患者57人、健常者35人を対象に行った。入院患者は全てタミフルやザナミビルミビル等の抗インフルエンザ薬を処方されており、約半数のインフルエンザ患者が平熱である。

提案するシステムでは、従来の発熱チェックに加え、新たに心拍数・呼吸数を導入することによって正常体温のインフルエンザ患者の検出も可能となると期待される。

このシステムは有症者の検出に線形判別関数(Linear Discriminant Function)を利用しているが、線形判別関数はデータの次元数が高くなると境界の識別を行うべき隣接関係が複雑になり、判別精度の低下を招く欠点がある。皮膚温や心拍数、呼吸数のような高次元のデータを扱う場合には、高次元データの隣接関係を保持したまま非線形的に分割できる非線形判別

関数の方が本質的に適している。したがって、有症者の検出をより高精度で行うためには、非線形判別関数の適用を検討する必要がある。

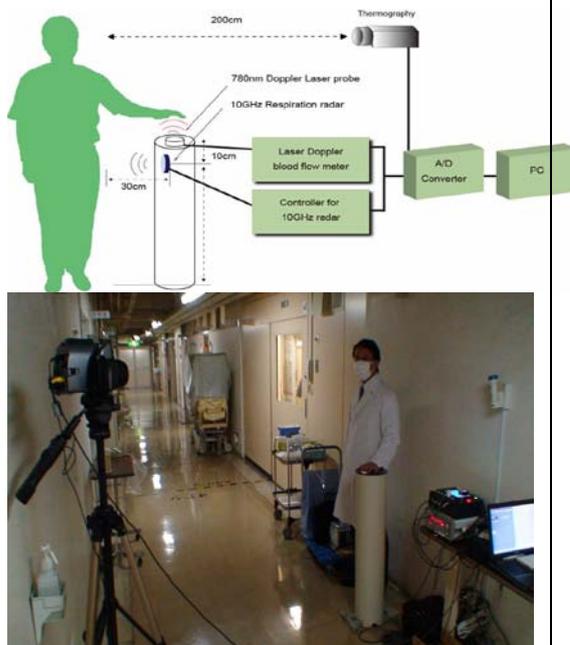


図1 感染症スクリーニングシステム

#### 4 研究成果

本研究で提案したスクリーニングシステムは、従来のサーモグラフィを利用した検疫システムに加えて、図2に示すように心拍数、呼吸数といった生理的データを短時間で計測することによって、正常体温の有症者の検出が可能となった。これまで、前頁で述べたこのシステムにおける2つの欠点を改良するための研究を行ってきた。具体的には、スクリーニングシステムの小型化と高精度の判別関数の導入である。その研究の成果として、小型でより判別精度の高いシステムが構築できた。本システムを用いて計測した呼吸数、心拍数、顔表面温度より線形判別関数を用いて行ったスクリーニングの結果を図3に示す。この図より89%の精度(sensitivity)で健常者とインフルエンザ患者が判別できていることが分かる。この図において体温37°C以下のインフルエンザ患者も高い精度で判別できていることが特筆に値する。これは、抗インフルエンザ薬服用により体温が下がっても、まだ炎症そのものが治ったわけではないので、呼吸数や心拍数が高く、この結果が線形判別関数のZ値に反映されたためである。図5にスクリーニング実施例を示す。線形判別関数のZ値がマイナス

になったので、感染の疑い(Potential Infection)と表示している。

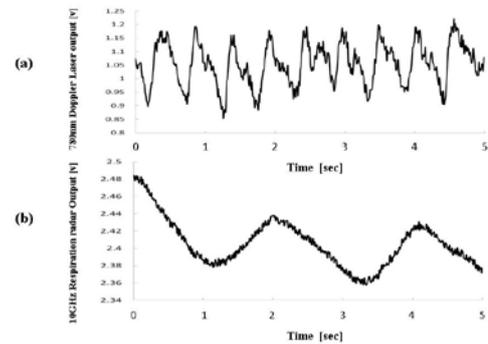


図2 本システムで計測した心拍と呼吸

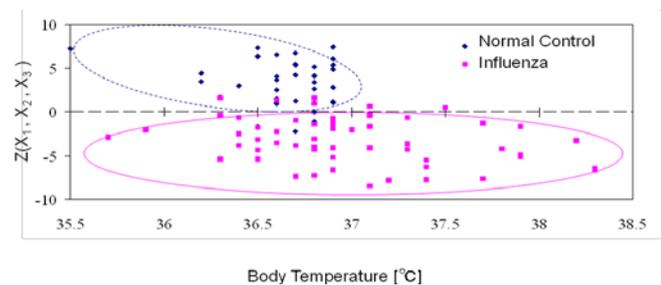


図3 線形判別法で判定した健常者とインフルエンザ患者

Normal Control					Influenza				
Body Temperature( $X_1$ )	Heart Rate( $X_2$ )	Respiratory Rate( $X_3$ )	Average Facial Temperature( $X_4$ )	$Z(X_1, X_2, X_3)$	Body Temperature( $X_1$ )	Heart Rate( $X_2$ )	Respiratory Rate( $X_3$ )	Average Facial Temperature( $X_4$ )	$Z(X_1, X_2, X_3)$
35.6	60	13	32.6	7.1	35.7	78	20	32.6	-2.5
36.2	63	15	33.1	3.3	36.7	105	18	32.9	-6.9
36.4	66	14	32.8	3.0	36.8	97	15	33.3	-4.0
36.5	54	13	33.2	6.0	36.9	82	16	33.6	-1.4
36.7	72	15	32.0	1.7	37.9	106	13	34.9	-5.6
36.8	60	13	33.2	4.8	38.2	93	15	34.4	-3.7
36.9	54	11	33.4	6.9	38.3	108	15	34.4	-6.9

$$Z(X_1, X_2, X_3) = 35.5 - 0.21X_1 - 0.48X_2 - 0.36X_3$$

図4 健常者とインフルエンザ患者の体表面温度、心拍数、呼吸数、Z値(+健常-患者) このように、線形判別関数を用い本システムを用いて5秒程度で計測したバイタルサインから感染の可能性を判別可能なシステムを構築することができた。



図5 スクリーニング画面

しかしこの方法には、スクリーニング精度 (sensitivity) が 89% に過ぎないという限界がある。このため、ニューラルネットワークと K-means 法を併用する非線形なスクリーニング法を提案し、再びスクリーニングを行った。これにより、線形判別関数で得られたスクリーニング精度 (sensitivity) 89% は 98% まで上昇した。また、スクリーニング精度が向上したのみではなく、この方法はシステム自体がスクリーニング条件を常に最適化するため、あらたな感染症が流行した場合や、さまざまな人種、年齢、性別の人々が集う国際空港などでシステムを運用する場合に最も相応しい方法である。

将来的には各地に配置した本システムをネットワークで結び計測データをデータベース化することにより、リアルタイムで最適なスクリーニング条件を更新する感染症スクリーニングシステムの開発が望まれる。

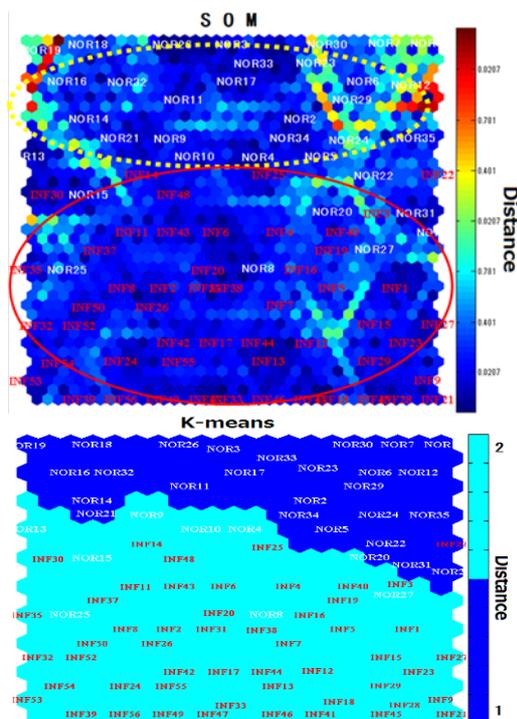


図6 ニューラルネットワークと Kmeans 法の併用によるスクリーニング法

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

Gotoh S, Sun G, Kagawa M, Matsui T.  
A novel stress monitoring method through stress-induced respiratory alterations: non-contact measurement of respiratory V(T)/T(I) alterations induced by stressful sound using a 10 GHz microwave radar. J Med Eng Technol. 査読有 2011 Nov;35(8):416-9. Epub 2011 Nov 7. DOI 10.3109/03091902.2011.626836

Suzuki S, Matsui T, Sugawara K, Asao T, Kotani K.  
An approach to remote monitoring of heart rate variability (HRV) using microwave radar during a calculation task. J Physiol Anthropol. 査読有 2011;30(6):241-9. DOI 10.2114/jpa2.30.241

Sun G, Abe S, Takei O, Matsui T  
A portable screening system for onboard entry screening at international airports using a microwave radar, reflective photo sensor and thermography. Proceedings of International Conference On Instrumentation, Communication, Information Technology and Biomedical Engineering (ICICI-BME-2011) 査読無 pp. 107-110.

Sun G, Abe S, Takei O, Hakozaiki Y, Matsui T  
A Novel Non-contact Infection Screening System Based on Self-Organizing Map with K-means Clustering. Communications in Computer and Information Science, 査読無 vol. 258, pp. 125-132.

Suzuki S, Matsui T, Sakaguchi Y, Ando K, Nishiuchi N, Ishihara M.  
The possibility of determination of accuracy of performance just before the onset of a reaching task using movement-related cortical potentials. Med Biol Eng Comput. 査読有 2010 Sep;48(9):845-52. DOI 10.1007/s11517-010-0664-4

Matsui T, Hakozaiki Y, Suzuki S, Usui T, Kato T,

Hasegawa K, Sugiyama Y, Sugamata M, Abe S.  
A novel screening method for influenza  
patients using a newly developed non-contact  
screening system.

J Infect. 査読有 2010 Apr;60(4):271-7.  
DOI: 10.1016/j.jinf.2010.01.005

Shinji Gotoh, Satoshi Suzuki, Hayato Imuta,  
Masayuki Kagawa, Zorig Badarch, Takemi  
Matsui.

Non-contact determination of  
parasympathetic activation induced by a full  
stomach using microwave radar.

Med Biol Eng Comput. 査読有 2009  
Sep;47(9):1017-9.  
DOI 10.1007/s11517-009-0506-4

Matsui T, Suzuki S, Ujikawa K, Usui T, Gotoh  
S, Sugamata M, Badarch Z, Abe S.

Development of a non-contact screening  
system for rapid medical inspection at a  
quarantine depot using a laser Doppler  
blood-flow meter, microwave radar and  
infrared thermography.

J Med Eng Technol. 査読有 2009;33(5):403-9.  
DOI: 10.1080/03091900902821151

[学会発表] (計10件)

①第50回日本生体医工学会

Study of a non-contact vital sign monitoring  
system for aged care settings using microwave  
radars

Masayuki Kagawa, Yuto Yoshida, Masayuki  
Kubota, Akira Kurita, Takemi Matsui

②第19回日本産業ストレス学会

片寄智之、浅田晴之、高橋卓也、山田忠幸、松  
井岳巳 マイクロ波レーダーを用いたストレス  
評価システムに関する研究～心拍・呼吸情報を用いた唾液中 $\alpha$ アミラーゼ濃度の推定～

③2011 International Conference on  
Instrumentation, Communication, Information  
Technology and Biomedical Engineering  
A portable screening system for onboard entry  
screening at international airports using a  
microwave radar, reflective photo sensor and  
thermography

Guanghao Sun, Shigeto Abe, Osamu  
Takei, Takemi Matsui

④Asia-Pacific Microwave Conference 2011  
An overnight vital signs monitoring system

for elderly people using dual microwave radars  
Masayuki Kagawa, Yuto Yoshida, Masayuki Kubota,  
Akira Kurita, Takemi Matsui

⑤2011 International Conference on Bio-Science  
and Bio-Technology

A Novel Non-contact Infection Screening System  
Based on Self-Organizing Map with K-means  
Clustering

Guanghao Sun, Shigeto Abe, Osamu Takei, Yukiya  
Hakozaki, Takemi Matsui

⑥第16回日本集団災害医学会

加藤剛人、長谷川工祐、杉山曜平、吉田真太郎、  
阿部重人、箱崎幸也、鈴木哲、松井岳巳  
有病者探知システムを用いたインフルエンザの迅速診断

⑦第20回体表心臓微笑電位研究会

香川正幸、吉田悠鳥、後藤眞二、鈴木哲、栗田明、  
高瀬凡平、松井岳巳  
介護者の負担を軽減する高齢者見守りシステムの  
開発～レーダーを用いた呼吸・心拍の非接触モニ  
タリング～

⑧第48回日本生体医工学会大会

松井岳巳、鈴木哲、藺牟田隼人、塚原健史、呼吸  
波形・心拍数変動指標を用いた非接触・ストレス  
評価システムの開発

⑨第14回産業保健人間工学会

長谷川工祐、松井岳巳、臼井貴大、加藤剛人、杉  
山曜平、鈴木哲、安倍重人 新型インフルエンザ迅速  
サーベイランスのための非接触・スクリーニン  
グシステムの開発と実地運用

⑩第29回医療情報学連合大会

香川正幸、松井岳巳、鈴木哲、吉田悠鳥  
“高齢者見守り支援システムの開発 ～マイクロ波  
レーダーを用いた呼吸・心拍の非接触計測～”

[図書] (計1件)

松井岳巳、「循環器内科」、「レーダーを応用した心  
臓監視」2010

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.sd.tmu.ac.jp/matsui-lab/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松井 岳巳 (MATSUI TAKEMI)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：50404934

### (2) 研究分担者

鈴木 哲 (SATOSHI SUZUKI)

首都大学東京・システムデザイン学部・助教

研究者番号：90171230