

機関番号：31604
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20500625
 研究課題名（和文） 短時間エネルギー消費量をヒューマンカロリメーターで高精度に測定する方法の開発
 研究課題名（英文） Development of method for accurate measurement of energy expenditure in a short-time period with whole body indirect human calorimeter
 研究代表者
 二見 順 (FUTAMI JUN)
 東日本国際大学・経済情報学部・教授
 研究者番号：60258829

研究成果の概要（和文）：ヒューマンカロリメーター（HC）による短時間エネルギー消費量（EE）測定における精度向上を目的に、HC内でダイナミックに変化するガス濃度を模擬する高精度ガス噴出装置を製作し、噴出精度を評価した。ガス噴出実験を行い、HCによる短時間EE測定における精度向上方法について検討した。より高精度にガス噴出を行うためには、1）ガス噴出装置の噴出量の確認、2）ガス噴出装置の流量変換値の微調節、3）噴出流量入力ソフトウェアにおける操作性の向上が必要であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：For accurate measurement of energy expenditure (EE) in a short-time period with whole body indirect human calorimeter (HC), we developed a gas infusion equipment simulates CO2 pattern dynamically exchanges in the HC. Accuracy of CO2 volume infused with the equipment was validated using catalog accuracies of components of the equipment. Repeated gas infusion experiments suggested that the necessity of 1) the estimation of real (not the catalog accuracy) CO2 volume infused with the equipment, 2) the adjustment of flow rate conversion factor of the equipment, 3) the development of software for simple operation inputting the infusion flow rate data to personal computer.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 応用健康科学

キーワード：エネルギー代謝、ヒューマンカロリメーター、データ処理、データ品質管理

1. 研究開始当初の背景

(1) HCで測定されるEEは生活習慣病の予防・治療に有益

肥満や生活習慣病の予防・治療には、個人のEEを適切に評価することが重要である。HCは、平成12年わが国ではじめて、上記研究所に1日24時間当たりの長時間EEを測定する装置として設置された。HCにより測定されるEEは、現在のところ最も信頼できるものとされ、生活習慣病の予防・治療の栄養指

導に必要である貴重な基礎データを提供しつづけている。

(2) 高精度な短時間EE測定の重要性

HCは、他のEE測定法（例えばダグラスバッグ法）と比較して、フェイスマスクやマウスピース等の呼気採取用機器を装着する必要がなく、日常生活に近い状態でのEEを、長時間（24時間あるいはそれ以上）にわたり高精度に測定する。著者らは、国立健康・栄

養研究所に設置された HC による 24 時間 EE 測定が系統誤差 $\pm 1\%$ 以下であることを、40 例のアルコール燃焼試験により確認している¹⁾。しかし HC は、測定原理上、短時間 (15~30 分) でダイナミックに変化する EE (例えば身体活動による EE) を正確に測定するのが困難な欠点がある。高精度な短時間 EE の測定は、24 時間 EE を構成する 3 つの要素、①基礎代謝量 (BMR)、②身体活動による代謝量、③食事誘発性産熱量を正しく評価することにつながり、これらの要素と生活習慣病との関連を解明する上で重要である。

(3) 現行の短時間 EE 測定精度評価方法の問題点

HC による短時間 EE の高精度測定には、測定により得られた情報 (O₂ 濃度、CO₂ 濃度、流量) から測定誤差を適切に取り除くデータ処理方法の開発、および測定装置の改良が不可欠である。国際的な先行研究では、既に幾つかのデータ処理方法の開発が試みられており^{2,3,4,5)}、著者らも上記研究所の HC におけるデータ処理方法の開発を行った⁶⁾。開発したデータ処理方法を用いた EE 測定の精度は、アルコール燃焼試験により評価した。ここでアルコール燃焼試験とは、無人状態で運転される HC の測定室内で精密天秤に乗せたアルコールランプを着火し、燃焼したアルコールの重量変化から理論的に求められる EE (理論値) と、HC により測定される EE (測定値) とを比較することにより、EE 測定の精度を評価するものである。アルコール燃焼試験による精度評価方法は、国際的にも HC を有する多くの研究施設で用いられているが、アルコール燃焼による HC 測定室内のガス濃度変化は緩やかなものであり、人が運動を行った場合や食事を行った場合におけるダイナミックな濃度変化を模擬することは困難である。著者らは先行研究⁶⁾において、短時間でダイナミックに変化するガス濃度を模擬するための新たな精度評価システムの必要性を指摘した。

2. 研究の目的

上述のような背景から、本研究では、HC による短時間 EE 測定の精度評価を目的とするガス噴出装置を製作し、その噴出精度を評価する。ガス噴出実験を行い、HC による短時間 EE 測定における精度向上方法について検討することを目的とする。

なお、本報告書中のガス濃度は体積分率であり、ガス体積における標記 STPD (Standard Temperature, Pressure, and Dry) は、0[°C]、1 気圧、乾燥状態での値であることを示す。

3. 研究の方法

上述の研究目的を達成するため、(1)ガス

噴出装置の製作、(2)ガス噴出実験を行った。それぞれの詳細について以下に示す。

(1) ガス噴出装置の製作

今回製作したガス噴出装置は、①ガスを実際に噴出するデジタルマスフローコントローラ (以下 DMFC: Digital Mass Flow Controller)、②DMFC の噴出流量を制御するデジタルプログラム調節計 (以下 DPC: Digitally Programmable Controller)、③DPC への噴出流量をパソコン上で設定する流量入力ソフト、④噴出ガス (N₂-CO₂ 混合ガス) の各装置から構成される (Figure 1)。以下に、各装置の特徴およびガス噴出装置全体としての噴出精度を示す。

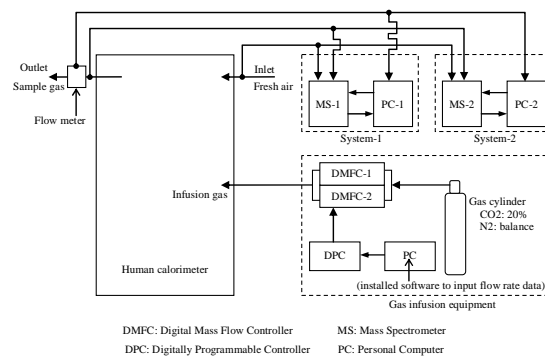


Figure 1. Conceptual diagram of measurement system

①DMFC の特徴および精度

DMFC は、噴出ガスを充填したガスボンベと HC との間に配置し、設定した流量でガスを HC 内へ噴出する装置である。今回、広い流量範囲で高精度なガス噴出を実現するため、噴出可能な流量範囲が 0.5~50.0[L/分]の高流量モデル (Model: MQV0050 (highly accuracy Model), Yamatake Corp., Tokyo)、および 0.05~5.00[L/分]の低流量モデル (Model: MQV0005 (highly accuracy Model), Yamatake Corp., Tokyo) の 2 機の DMFC を採用した。これらの DMFC を並列に配置し、1 機毎独立に作動させることも、2 機同時に作動させることも、どちらも可能な仕様とした。どちらの DMFC を作動させるか (あるいは両方とも作動させるか) は、後述の流量入力ソフトにより制御する。Figure 2 に DMFC の流量に対する系統誤差を示す。後述の今回の実験では、HC 内での人の運動を模擬するため、低流量モデルのみ使用し、ガス噴出流量を 4.0[L/分]とした。この場合の DMFC の系統誤差は、 $\pm 1.0\%$ である。なお、Figure 2 に示す系統誤差は、温度範囲 $-10\sim+60\text{[}^\circ\text{C]}$ 、湿度範囲 10~90[%]の周囲環境、および DMFC 入口と出口との差圧範囲 100~300kPa (MQV0005 は 5~300[kPa]) の条件下で適切に使用した場合に保証されるカタログ上の値である。また、本 DMFC に示される流量値は、20[°C]、1 気圧状

態に変換した体積流量値である。

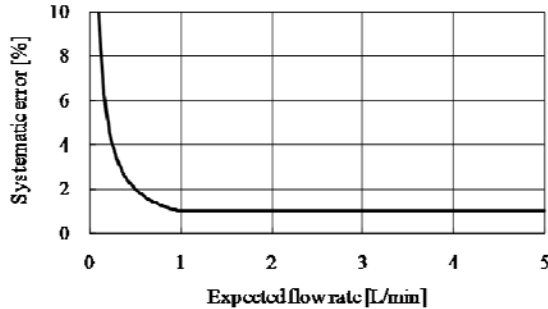


Figure 2. Systematic error of the digital mass flow controller for the lower flow rate model (FS=5 [L/min]). For the higher flow rate model (FS=50[L/min]), the graduations of horizontal axis increases by a factor of ten.

②DPC の特徴および精度

DPC は、上記 DMFC に接続し、DMFC により噴出されるガスの流量を制御する装置である。今回、上記 2 機（高流量用および低流量用）の DMFC を制御するため、2 系統の入出力端子をもつ DPC (Model: DCP552 Mark II (2 チャンネル用), Yamatake Corp., Tokyo) を採用した。本 DPC により設定される流量の系統誤差は、設定可能最大値（以下 FS: Full scale) の ± 0.1 [%] である。今回、低流量モデルの DMFC を使用したため FS=5 [L/分] であるので、DPC により設定される流量の系統誤差は、0~5 [L/分] の全設定可能範囲において、設定値にかかわらず ± 0.005 [L/分] となる。今回の実験では、ガス流量を 4.0 [L/分] に設定した。この場合、DPC の系統誤差は ± 0.125 [%] ($=0.005$ [L/分] / 4.0 [L/分] $\times 100$ [%]) であり高い精度を実現している。なお、この系統誤差は、温度範囲 0~50 [°C]、湿度範囲 10~90 [%] の周囲環境下で適切に使用した場合に保証されるカタログ上の値である。

③流量入力ソフトウェアの特徴

今回採用した流量入力ソフトウェア (Model: SLP-P55, Yamatake Corp., Tokyo) は、上記 DPC の専用ソフトウェアであり、PC-DPC 間の通信機能も備えている。本流量入力ソフトウェアにより、ガス噴出流量と噴出時間を PC 上で設定する。例えば、ガスを流量 4.0 [L/分] で 30 分噴出し、その後 30 分噴出停止する場合には、Table 1 の様に流量および噴出時間を入力する。本ソフトウェアにより PC 上に設定した噴出パターンは、DPC に伝送され、DPC が DMFC を制御してガスが噴出される。

なお、上記 2 機の DMFC のうち、どちらを作動させるかの設定も本ソフトウェアにより行なう。高流量モデル (Model: MQV0050) 使用の場合には、流量入力ソフトウェアでの設定値は 0.2 [L/分] キザミ (小数点以下第 2 位四捨五入) であり、低流量モデル (Model:

MQV0005) 使用の場合には、0.02 [L/分] キザミ (小数点以下第 3 位四捨五入) となる。

Table 1. Example of inputting flow rate and time interval into the software on a personal computer.

Segment No.	01	02	03	04
Flow rate [L/min]	4.0	0.0	0.0	...
Time interval [hh:mm]	0:30	0:00	0:30	...

④噴出ガス (N₂-CO₂ 混合ガス)

噴出ガスは、容量 47 [L] のガスボンベに 14.7 [MPa] で充填した N₂-CO₂ 混合ガス (CO₂: 20 [%], N₂: Balance) (東邦酸素工業株式会社, 横浜) を使用した。充填ガスの CO₂ 濃度は、ガスクロマトグラフィー (Model: GC-8A, SHIMADZU Corp., Kyoto) により分析し、20.046 \pm 0.040 [%] (mean \pm SD, n=10) であった。バラツキの程度は、設定値の ± 0.2 [%] ($=SD/mean \times 100$ [%]) であり、設定値が高い信頼性で保証されていることを確認した。

ボンベ内のガス量は、大気圧 (1 気圧) 換算にしておよそ 6815 [L] (1 気圧=101325 [Pa], 14.7 [MPa] \approx 145 気圧、 $47 \times 145 = 6815$ [L]) であるので、例えば、流量 4.0 [L/分] で噴出した場合、28 時間を超える長時間の連続噴出が可能である。

⑤ガス噴出装置全体としての噴出精度

ガス噴出装置を構成する各装置の精度については上述のとおりであるが、ガス噴出装置全体としての CO₂ 噴出精度について以下に示す。

ガス噴出装置による単位時間当たりの CO₂ 噴出流量 G は、V をガス噴出装置による単位時間当たりのガス噴出流量、F を噴出ガスの CO₂ 濃度として、下式で表わすことができる。

$$G = V \times F \quad \text{式(1)}$$

G の誤差 ΔG は、式(1)の右辺を偏微分することにより、下式で表わすことができる。

$$\Delta G = \frac{\partial G}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial G}{\partial F} \Delta F \quad \text{式(2)}$$

$$= F \times \Delta V + V \times \Delta F$$

G の相対誤差 (真値 G に対する誤差 ΔG の割合) は、式(2)の両辺を G で除すことにより、下式で表わすことができる。

$$\frac{\Delta G}{G} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta F}{F} \quad \text{式(3)}$$

式(3)は、ガス噴出装置により噴出される CO₂ 流量の相対誤差 (左辺) は、ガス噴出装置により噴出される N₂-CO₂ 混合ガス流量の相対誤差 (右辺第 1 項) と、N₂-CO₂ 混合ガスにおける CO₂ 濃度の相対誤差 (右辺第 2 項) との和で表わされることを示す。右辺第 1 項を評

価するため、誤差の伝搬を考えると、PC上で設定した流量値はPC→DPC→DMFCと伝搬し、この過程で誤差を内包する。今回の実験では噴出流量を4.0[L/分]に設定したので、DPCによる系統誤差は±0.125[%]と見積もられた(研究の方法(1)②)。つまり、PC上で4.0[L/分]と設定した流量は、DPCにおいて誤差をほとんど含まず、4.0[L/分]のままDMFCへ伝送される。したがって、式(3)の右辺第1項は、DMFCでの流量4.0[L/分]の場合の系統誤差として±1.0[%] (Figure 1) と見積もられる。また、式(3)の右辺第2項については、ガスポンペ内のCO₂濃度の系統誤差として±0.2[%]と見積もられる(上記II.4)。したがって、式(3)の左辺、つまり、ガス噴出装置により噴出されるCO₂流量の系統誤差は±1.2[%] (=1.0+0.2) と見積もられ、高い噴出精度を実現した。

この他の誤差要因として、定量的評価は困難であるが、DMFCのコンバージョンファクターの設定が考えられる。これは、DMFCは製造過程において空気(CO₂をほとんど含まない(0.03[%]))により校正されているが、本研究ではCO₂を約20[%]含んだN₂-CO₂混合ガスを使用しており、このことによる誤差である。今回の混合ガス用にコンバージョンファクターを最適に設定することは非常に困難であるが、これによる誤差を見込んだとしても、ガス噴出装置全体の精度としては、系統誤差±5[%]以下と考えられる。

(2) ガス噴出実験

上述のガス噴出装置を用いて、無人状態で運転されるHCの測定室内へN₂-CO₂混合ガスを噴出した。HC内での人の運動を模擬するため、ガス噴出パターンを矩形波とし、周期60分(30分間一定流量噴出、30分間噴出停止)を1回、周期30分(15分間一定流量噴出、15分間噴出停止)を2回、周期20分(10分間一定流量噴出、10分間噴出停止)を2回、周期10分(5分間一定流量噴出、5分間噴出停止)を3回を連続して行なった。同様の一連の実験を別の日に合計3回実施した。ガス噴出装置によるCO₂噴出量を真値とし、HCにより測定した二酸化炭素生産量(以下VCO₂)において、①CO₂回収率、②平均二乗誤差(mean square error)、③相関係数(correlation coefficient)を求め、検討した。

なお、ガス噴出装置およびHCにおいて、測定開始時刻を電波時計により一致させた。また、データ取得間隔は、人を対象とした場合のHC測定のそれである12秒に一致させて実験を行なった。

4. 研究成果

Figure 3に、ガス噴出装置によるCO₂噴出

流量と、HCにより経時的に測定されたVCO₂との比較を示す。HCによる測定は、今回の実験に限らず、測定中に予期せぬ障害が測定システムに生じた場合にも測定継続を確保するため、独立した2系統のシステム(システム1およびシステム2)により測定が行われている。Figure 3aはシステム1による測定値、Figure 3bはシステム2による測定値、Figure 3cは両システムの測定値の平均を示す。これらの図から以下の結果となった。①HCにより測定されるVCO₂の経時パターンにおいて、システム1とシステム2との間に大きな差は認められなかった。②いずれの周期においても、HCでのVCO₂測定値は、噴出したCO₂量に達しなかった。③いずれの周期においても、HCでのVCO₂測定値は、ガス噴出装置によるCO₂噴出に比し約3分の遅れ時間が生じた。④いずれの周期においても、HCによるVCO₂測定値の振幅はほぼ同値であった(3分間の遅れ時間を除いたVCO₂データの平均値は、いずれの周期のガス噴出においてもほぼ同値であった)。

Table 2に、システム1、システム2および両システムの平均値として、各噴出周期におけるCO₂回収率(Table 2a)、平均二乗誤差(Table 2b)、相関係数(Table 2c)を示す。CO₂回収率は、ガス噴出装置によるCO₂噴出量を真値とし、これに対するHCで測定されるVCO₂の周期全体にわたる積算値の比率として、周期毎に算出した。平均二乗誤差は、ガス噴出装置によるCO₂噴出量とHCのVCO₂測定値との差の二乗を周期全体にわたり総和し、その総和の平方根をデータ数で除した値として、周期毎に算出した。相関係数は、ガス噴出装置によるCO₂噴出量とHCのVCO₂測定値との相関として算出した。CO₂回収率、平均二乗誤差、相関係数とも、各周期での値において、測定システムの違いによる大きな差は認められなかった。また、同周期における複数回の実験(例えばTable 2中の(1)、(2)、(3))において、実験毎の値に大きな差は認められなかった。

上記の結果は、今回行なった3回の実験において同様であった。Table 3に、CO₂回収率、平均二乗誤差、相関係数について、3回の実験の平均値をまとめる。CO₂回収率については、ガス噴出周期に依存せず、およそ85[%]であった。このことは、いずれの周期においても、噴出したCO₂の15[%]が回収されていないことを示す。一般に、噴出したCO₂の全量が回収されない原因としては、HC内ガスのHC外へのリーク(密閉が不十分)、あるいはHC内でのCO₂吸着などが考えられるが、前述のように、国立健康・栄養研究所のHCは系統誤差±1[%]以下で24時間EEを測定することが確認されていることからすると、CO₂噴出量の15[%]が未回収となるほどのリ

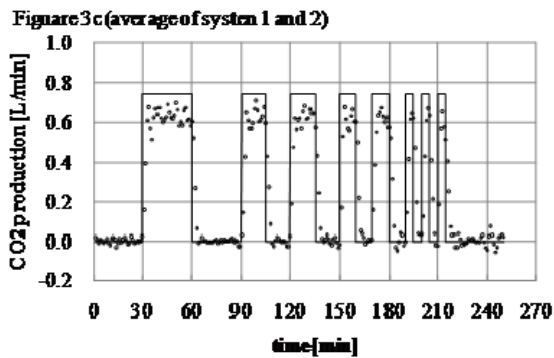
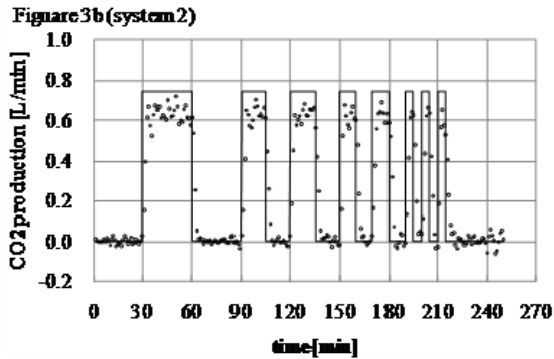
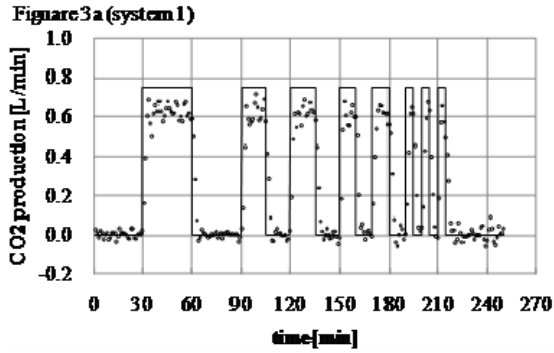


Figure 3. CO₂ production for CO₂ infusion test. A mixture of CO₂ and N₂ (20 and 80%, respectively) was infused at a rate of 3.727 [L/min, STPD] in gradually decreasing intervals. A solid line shows the value infused CO₂ with the gas infusion device. Plotted circles show the value measured with human calorimeter.

ークや CO₂ 吸着が生じているとは考えにくい。一方、今回のガス噴出実験におけるデータ分析方法についても、その妥当性を幾度も確認した。CO₂ 噴出量の未回収の原因について、今後詳細な検討が必要である。

平均二乗誤差については、ガス噴出周期が短くなるに連れ増加した。人を対象とした実験では、多くの場合 30 分を最小単位として測定プロトコルが組まれる。つまり、運動、食事、座位、立位、自由時間等、HC 内での身体活動パターンは 30 分を単位として組まれる。これを模擬する周期 60 分 (30 分ガス噴出、その後 30 分噴出停止) での平均二乗誤差は 0.0235 [L/min] であり、噴出した CO₂ 量

Table 2. Recovery, mean square error, and correlation coefficient for CO₂ infusion test in system 1, 2, and average of both systems.

Table 2a Recovery for CO₂ infusion test [%]

Period	System 1	System 2	Average of system 1 and 2
60 min	84.2	85.3	84.8
30 min (1)	84.4	85.6	85.0
30 min (2)	84.6	86.0	85.3
30 min (av)	84.5	85.8	85.1
20 min (1)	86.0	86.2	85.1
20 min (2)	84.6	86.4	85.5
20 min (av)	85.3	86.3	85.8
10 min (1)	84.9	85.7	85.3
10 min (2)	84.4	85.0	84.7
10 min (3)	86.6	87.2	85.9
10 min (av)	85.3	85.9	85.6

Table 2b Mean square error for CO₂ infusion test [L/min, STPD]

Period	System 1	System 2	Average of system 1 and 2
60 min	0.0244	0.0244	0.0244
30 min (1)	0.0444	0.0448	0.0446
30 min (2)	0.0437	0.0429	0.0433
30 min (av)	0.0441	0.0438	0.0439
20 min (1)	0.0661	0.0663	0.0662
20 min (2)	0.0679	0.0677	0.0678
20 min (av)	0.0670	0.0670	0.0670
10 min (1)	0.1288	0.1322	0.1305
10 min (2)	0.1266	0.1289	0.1277
10 min (3)	0.1205	0.1230	0.1212
10 min (av)	0.1253	0.1277	0.1265

Table 2c Pearson's correlation coefficient for CO₂ infusion test

Period	System 1	System 2	Average of system 1 and 2
60 min	0.879	0.877	0.878
30 min (1)	0.775	0.768	0.772
30 min (2)	0.783	0.790	0.787
30 min (av)	0.779	0.779	0.779
20 min (1)	0.636	0.636	0.636
20 min (2)	0.617	0.616	0.617
20 min (av)	0.627	0.626	0.627
10 min (1)	0.208	0.163	0.186
10 min (2)	0.242	0.226	0.234
10 min (3)	0.300	0.280	0.290
10 min (av)	0.250	0.223	0.237

Table 3. Recovery, mean square error, and correlation coefficient as the average of 3 times CO₂ infusion tests.

Period	Recovery [%]	Mean square error [L/min, STPD]	Correlation coefficient
60 min	84.5	0.0235	0.889
30 min	84.8	0.0425	0.797
20 min	85.1	0.0632	0.675
10 min	85.6	0.1225	0.295
Overall	85.0	0.0629	0.664

STPD: Standard Temperature, Pressure, and Dry

0.7471 [L/min] の約 3 [%] の誤差が生じる結果であった。

相関係数については、ガス噴出周期が短くなるに連れ減少し、ガス噴出装置による CO₂

噴出パターンとHCにより測定されるVC02パターンとの間の相関関係が弱まる結果となった。ガス噴出周期 60 分のときには相関係数 0.889(強い相関関係がある)であったが、周期 10 分のときには相関係数 0.295(やや相関関係がある)となった。

この他、今回の一連の実験を実施した経験から、正しく実験を行なう対策として、流量入力ソフトウェアの操作性の向上が挙げられる。現在の流量入力ソフトウェアは、上述(研究の方法(1)③)の様に、流量および噴出時間をセグメント毎に手入力する必要がある。今回の実験の様に、HC内での運動を模擬した矩形波型噴出の場合には、一定流量の噴出が数分から数十分維持するため、セグメント数は多くなく、流量入力の確認作業にも極端に大きな負担は生じなかった。しかし、今後、食事摂取後のHC内のガス濃度変化を模擬する際には、カーブ(曲線)型のガス噴出を行なうことが必要である。カーブ型のガス噴出を滑らかに実現するためには、噴出時間を細かくし設定し、多数のセグメントに流量を入力することが必要となり、現状の様な手作業の入力方法では、誤入力の可能性が増大する。この対策として、例えば、一般に多くのユーザが使用するMicrosoft社製Excel上で算出した流量値をDPCに直接伝送可能とするなど、流量入力ソフトウェアの操作性の向上が望まれた。

本研究は、ガス噴出装置を用いた第一段階目の研究であるため、いくつかの課題を残した。今後、①ガス噴出装置の噴出量の確認、②DMFCのコンバージョンファクターの微調節、③噴出流量入力ソフトウェアにおける操作性の向上についての検討を進めることが期待された。

本報告書の内容は、東日本国際大学経済情報学部研究紀要(第16巻、第1号、2011年、pp.17-28)に発表した内容を一部変更したものである。

参考文献

- 1) ヒューマンカロリメーターによるエネルギー消費量測定—精度評価と精度向上のための問題点の検討—, 二見順, 田中茂穂, 山村千晶, 岡純, 高田和子, 柏崎浩, 日本栄養・食糧学会誌, Vol. 56, No. 4, 229-236, 2003.
- 2) Chamber for indirect calorimetry with improved transient response, Henning B, Lofgren R, and Sjostrom L, Medical & Biological Engineering & Computing, Vol. 34, 207-212, 1996.
- 3) Modification of a whole room indirect calorimeter for measurement of rapid

changes in energy expenditure, Sun M, Reed GW, and Hill JO, J. App. Physiol., Vol. 76, No. 6, 2686-2691, 1994.

- 4) Granato L, Brandes A, Bruni C, Greco AV, and Mingrone G, V02, VC02, and RQ in a respiratory chamber - Accurate estimation based on a new mathematical model using the Kalman-Bucy method, J Appl Physiol, Vo.96., 1045-1054, 2004.
- 5) ヒューマンカロリメーターによる短時間エネルギー消費量測定 of 精度向上のための検討, 二見順, 田中茂穂, 熊江隆, 高田和子, 柏崎浩, 国立健康・栄養研究所研究報告, 第52号, 2003.

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1件)

- ① 二見順、ヒューマンカロリメーター内でダイナミックに変化するガス濃度を模擬するガス噴出装置の開発、東日本国際大学経済情報学部研究紀要、査読有、第16巻(第1号)、2011年、pp.17-28.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

二見 順 (FUTAMI JUN)

東日本国際大学・経済情報学部・教授

研究者番号：60258829