バーチャルヒューマンモデルによる作業性, 安全性の研究

— 第三報 重筋作業時の身体負荷について —

正員 奥 本 泰 久*

村 瀬 晃 平*

学正員 中馬越 幸 次*

Study of Workability and Safety Using Virtual Human Model
— 3rd Report, Strength of Human Body for Physical Works —

by Yasuhisa Okumoto, *Member* Kouhei Murase
Kouji Nakamagoe, *Student Member*

Summary

Since Japan has become a society with a decreasing birthrate and also with aged people recently, it will be difficult for the Japanese shipbuilding industry to prosper as former glorious days, unless the industry makes effort to restructure the manufacture system as suitable for the human oriented production. In such circumstance, to increase productivity and to keep safety and health of the workers are the most important for the companies. Using biomechanics and ergonomics, together with computer simulation techniques, it will be possible to establish the virtual *ergofactory* which concords productivity with humanity well.

This report has picked up the physical works in shipbuilding such as lifting, carrying, pushing, and pulling and the human task simulation by using general purpose program “Jack” has been carried out; the static strength prediction on human body, low back compression analysis, and also metabolic energy expenditure analysis.

As the result, it can be proposed theoretically that the lifting, pushing and pulling loads should be limited under 30kg, and the carrying load should be limited under 40kg, so as to keep the local torque and/or forces on segments and joints in a human body under the allowable values of them.

1. 緒 言

我が国は近年特に高齢化, 少子化が著しく, さらに若者の製造業離れが加速しており, 国内産業の構造的な変化が進む中で, 労働集約型産業である造船業がこのような社会の変化に対応して生き残り, かつてのように繁栄

し続けることは至難の技であるといえよう。経営的・営業的な問題は別途論ずるとして, 生産システムの側面から考察すれば, 造船業が魅力ある産業として一層栄えるためには, 3K (きつい, 危険, 汚い) から脱皮し, 生産性と人間性を両立させた真のエルゴファクトリーを実現することが不可欠と考えられる。

このような観点から, 著者らは造船現場における作業性や安全性について, コンピュータによるバーチャルヒューマンモデルを用いた生体力学的な解析を試み, 「きつい」については第一報に¹⁾, 「危険」については第二報に²⁾ それぞれ報告してきた。また, 3Kのうち「汚い」については, 各造船所とも5S運動に力を入れ, 職場環

* 近畿大学工学部

原稿受理 平成 13 年 1 月 10 日
春季講演会において講演 平成 13 年 5 月 17, 18 日

境の改善をはかっており、成果が上がっているものと思われる。

第一報では造船の主作業である溶接に焦点を当て、溶接姿勢と人体への負荷について考察したが、造船作業の中には、取付けや玉掛けなど人体への負荷が大きい作業も多く、作業者の高齢化や若者の脆弱化を考えれば、これらの肉体作業に対し今後抜本的な対策が必要であろう。従って本報では、造船における「重筋作業」に焦点を当て、持ち上げ、運搬、押し、引きに対し、健康障害や事故につながる静的な人体負荷、腰部の障害要因となる腰椎への作用力、および「疲れ」の原因となる消費エネルギーについて、それぞれ前報と同じバーチャルヒューマンモデルによる解析を行ったものである。解析には前報と同じく汎用ソフト「J a c k」を使用した。

2. 作業負荷からみた造船作業の実体

造船作業は、船殻、艀装、塗装に分かれるが、このうち船殻について大手造船所主力工場における作業職種ごとの人員構成（計画・管理業務を除く）の一例をFig. 1に示す。前報でも述べたように溶接作業が最も多く 1/2 弱、次いで取付け、残りは加工、玉掛け、足場、その他。

Fig.1 Composition of hull works in shipyard

(1) 歩行

通常、造船では作業場所が固定し人がそこに移動して作業を行う形態が主であり、移動のための歩行時間が多いのが特徴である。特に外業作業では顕著である。外業での取付けと溶接作業について行ったランダムサンプリングによる作業分析の結果³⁾によれば、全作業時間のうち、取付けでは作業場への移動に 7.1%、作業場内での移動に 7.4%、合わせて 14.5%が歩行時間となっている。

また溶接作業は、取付けと異なり同じ場所で作業するため、場所内での移動が主であるが、それでも 9%が移動・歩行時間となっている。また、実作業中でも頻繁に場所移動や歩行が認められる。ただし、通常の歩行は人体負荷の面では比較的楽であるといえよう。特殊なものとして梯子の昇降があり、この場合は前報でも紹介したように人体負荷は比較的大きい²⁾。

(2) 姿勢保持

造船作業もその多くが自動化され、現在重筋作業はそれほど多くはない。船殻作業の 1/2 近くを占める溶接作業でも可搬重量は少なく、基本的には「蹲踞（しゃがんだ姿勢）」「中腰」「立位」の3動作の組合せであり自身の姿勢保持が主たる人体負荷となっている。よく見られるように溶接作業時船殻部材や簡易椅子に座ったり、体をあずけたりすれば人体負荷も少なくなる。

(3) 持ち上げ／持ち下げ

作業中、部材や治工具、機器などの重量物を持ち上げたり、下ろしたりすることはしばしば起こりうる。特に玉掛け作業ではシャックルやクランプを持ち上げ、取付け作業ではカラープレートやブラケットなど各種ピース類を持ち上げている。Table 1 に比較的重いとされる治工具などの重量を示す。

Table 1 Weight of jigs and pieces

Piece	Weight (k g)
Shackle	2 ～ 4 0
Clamp	5 ～ 2 0
Chain block	1 5 ～ 2 0
Collar plate	
Bracket, Piece	1 0 ～ 3 0

(4) 運搬

上記に関連し、部材や治工具、機器、部材などの重量物を運搬することは多い。特に準備作業や後片づけでは運搬業務がメインである。

(5) 押し／引き

取付けや玉掛け作業は、位置決めのために部材を押したり引いたりすることが多い。直接部材にタッチする場合もあるが、ロープや治工具を使う場合もある。加工ではプレス作業時直接部材を押し引きし、機械にセットしている。

(6) その他

取付け時、位置決めのためにハンマーを振り、部材を叩く場合もある。

以下では、これらの動作・作業のうち、人体負荷が比較的高く頻度も多い、持ち上げ、運搬、押し、引きの4作業について、静的負荷および消費エネルギーの詳細解析を行う。

3. 作業時の消費エネルギー

静的負荷に関しては既に第一報で詳述したため、ここでは疲労の原因となる消費エネルギーについて概説する。作業者の疲労の蓄積は、作業者自身の健康を損なうばかりか、作業能率の低下につながり、事故や労働災害の要因ともなる。疲労現象は肉体的・筋肉の疲労、神経感覚的疲労、精神的疲労の3種類に大別できるが、無理な静的筋作業による疲労は神経感覚的疲労も伴う場合もある。また、環境条件、温度、湿度、騒音などにも影響され、仕事のペースや姿勢、緊張度などによっても変化する⁴⁾。現在、工場の自動化などで疲労は精神的なものや神経感覚的なものが増加する傾向にあるが、本稿では肉体的・筋肉の疲労についてのみ考察する。

3. 1 消費エネルギー

作業者への作業負荷を評価するにはエネルギー代謝のメカニズムに着目して、呼吸や循環の度合いを測定し、間接的に生理学的機能を測定する方法が採用されており、エネルギー代謝率 (Relative Metabolic Rate, RMR) が作業性評価に用いられている。これは労働エネルギー消費量 (対象となる作業に使用されるエネルギー消費量) と基礎代謝量 (生命を維持するための最小限のエネルギー消費量) との比で表される⁵⁾。すなわち

$$RMR = \frac{\text{作業時消費エネルギー量} - \text{安静時消費エネルギー}}{\text{基礎代謝}}$$

$$= \frac{\text{労働代謝}}{\text{基礎代謝}} \quad (1)$$

沼尻によれば^{5) 6)}、日常生活では $RMR=0 \sim 10$ 、重筋労働では $RMR=10 \sim 12$ 、激しい運動では 20 を超えている。

他方、作業強度を仕事量に換算し、kcal または kJ で表す方法も近年用いられており、Edholm, Grandjean らによって Table 2 の値が示されている^{6) 7)}。また、作業のきつさの程度とエネルギー消費量との関係は、米国工

業衛生協会 (American Industrial Hygiene Association) のデータによれば Table 3 で与えられる⁷⁾。

Table 2 Energy consumption of human body

Condition	Energy consumption(kcal/min)
Sleeping	1.3
Sitting	1.6
Standing	2.25
Walking	2.1
Cleaning	2.0-3.0
Cycling(16km/h)	5.2

Table 3 Grade of physical works based on energy expenditure level

Grade of work	kcal/min	kcal/day
Rest(sitting)	1.5	<720
Very light work	1.6-2.5	768-1200
Light work	2.5-5.0	1200-2400
Moderate work	5.0-7.5	2400-3600
Heavy work	7.5-10.0	3600-4800
Very heavy work	10.0-12.5	4800-6000
Unduly heavy work	>12.5	>6000

人体のエネルギー消費は主に酸素の消費量の測定によって間接的に測定されるが、これは、体内で1リットルの酸素が消費されると、平均して 20kJ のエネルギーが遊離されることに基づいている⁸⁾。他にもエネルギー消費の計測には心拍数や血圧、呼吸数の増減で評価する方法もあるが、これらは心的な影響が入り、個人差が出て測定値にばらつきが出る欠点がある⁵⁾。

文献⁹⁾によれば、通常健康な青年男子の動的作業における最大有酸素運動能力は 16kcal/min といわれており、この 1/3 の 5.2kcal/min が健康な青年男子の8時間の肉体労働に対する限界値とみなされる。また、文献⁷⁾によれば、継続的に絶えるエネルギー代謝限界値は 4,800kcal/day で、これから基礎代謝と余暇ジュール (日常生活に要するエネルギー) を合わせた 2,500 kcal/day を差し引きすれば、仕事ジュール (特定の作業に要するエネルギー) は 2,300 kcal/day となり近似的に許容値として 2,000 kcal/day が提案されている。従って、 $2,000/8=250\text{kcal/h}$ 、 $250/60=4.2\text{kcal/min}$ となる。その他、5.0kcal/min および 3.35kcal/min が男性、女性それぞれに対し提案されている。文献⁸⁾では仕事ジュールとして1日当たり 15,000kJ (2,508kcal)、8時間労働の場

合 1,300kJ/h を与えておりこれは 5.17kcal/min に相当する。これらを総合すると青年男子の8時間の肉体労働では 5kcal/min が妥当な値と思われる。

3. 2 Jack による消費エネルギーの計算

J a c k では Garg らの研究結果⁹⁾に基づいて、25種類の特定動作に対しエネルギー消費量を算出する。Garg らは、仕事を単純な要素の集まりと考え、平均の消費エネルギーを算出するモデルを考えた。すなわち

$$\bar{E}_{job} = \frac{\sum_{i=1}^m E_{posi} \times t_i + \sum_{j=1}^n \Delta E_{taskj}}{T} \quad (2)$$

$\bar{E}_{job}$: 平均エネルギー消費率 (kcal/min)

E_{posi} : 姿勢 i を保持するのに必要な代謝エネルギー消費率 (kcal/min)

t_i : 姿勢 i の保持時間 (min)

m : 作業姿勢の総数

ΔE_{taskj} : 定常時のタスク j の代謝エネルギー消費量 (kcal)。休息、立位、座位など安静時の代謝を除いたネット値

n : 全タスク数

T : 作業時間 (min)

ここで、姿勢 i を保持するために必要な代謝エネルギー消費率 E_{posi} は性別、体重、姿勢に依存する。また、定常状態におけるタスク j の代謝エネルギー消費量 ΔE_{taskj} は、同様に性別、体重、姿勢の他、持ち上げ重量・高さ・早さ、負荷頻度、腕の水平面内の動き、体の上下運動、歩行姿勢・速度、タスク時間などに影響される。性別による違いは荷物の持ち上げ／荷下ろしなどに認められるが、歩行や押し／引きには認められない。J a c k の解析では細かな手作業や腕作業に対して、また、気温や湿度、環境などの影響については考慮していない。

各タスクの代謝エネルギー消費量は、酸素消費量の計測により実施し、多くの計測結果を統計解析（回帰分析）して近似式を求めた。今回の解析で使用した要素作業および計算式を以下に示す。

(1) Lift

持ち上げ。初期姿勢状態を指定することにより、各状態から荷物を持ち上げる。持ち上げ姿勢は、膝を伸ばし腰を曲げて持ち上げる姿勢 stoop lift と、膝を曲げ上体を起こして持ち上げる姿勢 squat lift がある (Fig.2)。

(a) Stoop lift (back lift)

(b) Squat lift (leg lift)

Fig.2 Two kinds of lifting postures

重量物を持ち上げるときは後者が好ましい姿勢といわれている。

<stoop lift の場合>

$$\Delta E = 10^{-2} [0.325BW(0.81 - h_1) + (1.41L + 0.76S \times L)(h_2 - h_1)] \quad (3)$$

kcal/lift for $h_1 \leq h_2 \leq 0.81$

BW: 体重(kg)

L: 持ち上げ重量(kg)

S: 性別による係数, 男性 1, 女性 0

h_1 : 持ち上げ開始高さ(m)

h_2 : 持ち上げ終了高さ(m)

<squat lift の場合>

$$\Delta E = 10^{-2} [0.514BW(0.81 - h_1) + (2.19L + 0.62S \times L)(h_2 - h_1)] \quad (4)$$

kcal/lift for $h_1 \leq h_2 \leq 0.81$

(2) Carry

荷物移動を伴う（運搬）歩行。動作時間や傾斜角度、移動距離や荷物重量を設定。上半身を主に用い場合は

$$\Delta E = 10^{-2} [80 + 2.43BW \times V^2 + 4.63L \times V^2 + 4.62L + 0.379(L + BW)G \times V] t \quad \text{kcal} \quad (5)$$

V : 歩行速度(m/s)

G : 歩行面の粗度(%)

t : 時間(min)

(3) Push/pull

押し／引き動作。手先位置が腰付近の場合 (Bench height, 地面高さ 0.8m) や顎付近の場合 (Chin height, 地面高さ 1.5m)。

<Bench height の場合>

$$\Delta E = 10^{-2} X (0.112BW + 1.15F + 0.505S \times F) \quad \text{kcal/push} \quad (6)$$

X : 水平移動量(m)

F : 作用力(kg)

<Chin height の場合>

$$\Delta E = X (0.086 + 0.036F) \quad \text{kcal/push} \quad (7)$$

4. 造船作業における人体負荷解析

現場での作業を観察し、持ち上げ、運搬、押し、引きの各作業について男性の人体モデルを作成し、Jackで静的負荷解析、腰椎負荷解析およびエネルギー消費解析を行った。人体は日本人男性のほぼ平均的な体格である身長 165cm、体重 61.6kg とした。

4. 1 持ち上げ

造船現場での代表的な持ち上げ時の姿勢を Fig.3(a)に、Jackによる人体モデルを Fig.3(b)にそれぞれ示す。この姿勢で両手での持ち上げ重量を 20kg としたときの静的負荷（関節にかかるトルク）解析結果を Fig.4 に示

(a) Actual posture

(b) Human model

Fig.3 Posture at lifting

す。計算は人体を剛棒とヒンジからなるリンク機構でモデル化し、姿勢や人体寸法および重量分布に対応した力とモーメントの釣合いを求めるもので、各関節ごとに回転角および作用トルクを計算する。Fig.4 の左欄には身体各部位と回転方向が示されており、各欄に対し以下

Fig.4 Calculation results of static strength at lifting

の計算結果が示されている。

Percent Capables：作用負荷（トルク）に対し耐えられる人の割合（パーセント）

Angle Values：関節の回転角（度）

Torque Values：関節に作用するトルク（N・m）

Mean Strengths：耐えられる平均トルク（N・m）

Fig.4によれば腰（Hip）および足首（Ankle）への負荷が高く、Percent capable はほぼ 90% の（10% の人は耐えられない）値となっている。

次に、荷重を 10kg から 50kg に順次変え、それぞれについて静的負荷解析した結果を Fig.5 に示す。本図は左右の平均値を示すが、荷重の増加につれて Percent capable も次第に減少し、50kg では足首が 50%、腰と体幹(Trunk)が 70% にそれぞれ近くなっている。なお、以下の節では Fig.4 に示す計算結果は省略し、Fig.5 に示す Percent capable のみ表示する。

Fig.5 Percent capable of torque at lifting

また、腰痛の原因となる「腰椎に作用する圧縮力」の解析結果を各持ち上げ荷重に対して Fig.6 に示す。通常腰痛は第5腰椎と第1仙骨間の椎間板（L5/S1 disc）に作用する圧縮力で発症するといわれるが、Jack では第4と第5腰椎間の椎間板（L4/L5 disc）に作用する圧縮力で評価している。腰痛は各種 MMH(Manual Materials Handling) のなかでも持ち上げ時に最も起こりやすいといわれているが、荷重が増加すれば圧縮力も増え、30kg で NIOSH（米国労働安全衛生研究所）の荷物取扱基準である 3,400N を上回っている。

次いで、持ち上げ重量を 20kg としたときの人体の消費エネルギー計算結果を Table 4 (Lift) に示す。計算は Fig.3 の姿勢（semi-squat）で 0.1 分間かけ、下面から

Fig.6 Low back analysis for lifting

800mm 持ち上げるケースを想定した。Lift のタスクに 0.61kcal 要し、これに姿勢保持のエネルギーを加えると合計 0.683kcal となり、これは 6.833kcal/min に相当する。この値は前述したように継続的に耐えうる限界値 5 kcal/min を超えているが、Table 3 と比較すれば Moderate work の範囲になっている。

また、静的負荷と同様、持ち上げ荷重を変化させて消費エネルギー計算を行った結果を Fig.7 に示す。この場合、姿勢は一定と仮定しているため姿勢保持のエネルギーは一定で、荷重が増加するにつれてタスクのエネルギーのみが増加し、30kg では限界値 8.245kcal/min を超えている。

Fig.6 の腰椎解析結果および Fig.7 の消費エネルギー解析結果から、持ち上げ荷重が 30kg 以上になるとそれぞれ許容限界値を超え、人体負荷の面でかなりきつことがわかる。荷物持ち上げ時の荷重は 30kg 未満とすることが望ましいといえる。ただし、高齢者では呼吸ガス代謝、筋作業持久能などが若者の 75～80% に低下し¹¹⁾、特に腰痛に対する許容圧縮力は前報¹⁾でも述べたように加齢によって著しく低下し、50 歳代では 20 歳代の 1/2 近くになるため、高齢者では 30kg の 1/2 の 15kg 程度未満が望ましい。

Table 4 Calculation results of energy expenditure (20kg force)

Item	Lift	Carry	Push	Pull
Duration (min)	0.1	1.0	0.17	0.17
Total task energy (kcal)	0.61	3.407	0.39	0.2
Standing posture energy (kcal)	0.034	0.671	0.114	0.091
Bent posture energy (kcal)	0.04	-	-	0.027
Total energy expenditure (kcal)	0.683	4.078	0.504	0.318
Energy expenditure rate (kcal/min)	6.833	4.078	2.965	1.872

Fig.7 Energy expenditure rate for lifting

4.2 運搬

運搬作業の代表的姿勢を Fig.8 に示す。前節と同じく、両手での運搬荷重を 10kg から 50kg に順次変え、それぞれについて静的負荷解析した結果を Fig.9 に示す。この場合は手で荷重を支えるため肘へのトルクが大きくなり Percent capable は 40kg の荷重で 80% になっており、胴体および足首も同じ値を示した。

Fig.8 Posture at carrying

Fig.9 Percent capable of torque at carrying

Fig.10 Low back analysis for carrying

Fig.11 Energy expenditure rate for carrying

次に、腰椎に作用する圧縮力の解析結果を各荷重に対して Fig.10 に示す。この場合は 50kg の力で NIOSH の荷物取扱基準である 3,400N に達している。

同じく荷重を 20kg としたときの人体の消費エネルギー計算結果を Table 4 (Carry) に示す。計算は Fig.8 の姿勢で 1 分間歩行するケースを想定し、速度は 50m/min とした。この場合は Bent 姿勢はなく立位姿勢のみであり、合計 4.078kcal/min になった。これは継続的に耐えうる限界値 5kcal/min 以下であり、Table 3 と比較すれば Light work の範囲になる。

次いで静的負荷と同様、荷重を変化させて消費エネルギー計算を行った結果を Fig.11 に示す。この場合は 50kg の荷重でも限界値 8.245kcal/min 以下で、作用荷重 70kg でこの値に達すると考えられる。

運搬時の荷重は Fig.9 の静的負荷解析結果から、成人男子で 40kg 未満とすることが望ましいといえる。

4.3 押し

押し作業の代表例として吊りブロックの位置決め時の姿勢を Fig.12 (a)に、ヒューマンモデルを Fig.12 (b) にそれぞれ示す。

(a) Actual posture

(b) Human model

Fig.12 Posture at pushing

このモデルを使って押し込み荷重を 10kg から 50kg に順次変え静的負荷解析した結果を Fig.13 に示す。Fig.13 (a)は左の、Fig.13 (b)は右の負荷を示すが、この場合は前節と異なり左右非対称の姿勢であるため、下半身の左右で負荷が異なっており、左側が高くなっている。左では Percent capable は 20kg の荷重で足首が 60%，胴体が 80%になり、30kg では膝も 49%に低下し 40kg では膝も足首も 0%近くになっている。

次に、腰椎に作用する圧縮力の解析結果を各押し込み荷重に対して Fig.14 に示す。この場合も 30kg の力で NIOSH の荷物取扱基準である 3,400N を上回っている。

同じく水平力を 20kg としたときの人体の消費エネルギー計算結果を Table 4 (Push) に示す。計算は前章に示した Push/pull タスクの Chin height (地面高 1.5m) を用い、Fig.12 の姿勢で 10 秒間に 500mm 押し込むケースを想定した。この場合も Bent 姿勢はなく立位姿勢のみである。結果は 2.965kcal/min になり、これは継続的に耐えうる限界値以下である。この値と Table 3 とを比較すれば Light work の範囲になる。

(a) Left

(b) Right

Fig.13 Percent capable of torque at pushing

Fig.14 Low back analysis for pushing

次いで静的負荷と同様、荷重を変化させて消費エネルギー計算を行った結果を Fig.15 に示す。この場合は 50kg の水平力でも限界値 8.245kcal/min 以下で、作用荷重 70kg で限界に達すると考えられる。

Fig.13 の静的負荷解析および Fig.14 の腰椎解析結果

Fig.15 Energy expenditure rate for pushing

結果から、押し作業時の作用力は 30kg 未満とすることが望ましいといえる。

4. 4 引き

引き作業の代表例として吊りブロックの位置決め時の姿勢を Fig.16(a)に、ヒューマンモデルを Fig.16(b)にそれぞれ示す。また、前項と同じく、このモデルを使って引張り水平力を 10kg から 50kg に順次変え、それぞれについて静的負荷解析した結果を Fig.17 に示す。本図は左右の平均を示すが左右で値はほぼ等しく、Percent capable は 30kg で足首が 40%、膝が 80%と下半身に

(a) Actual posture

(b) Human model

Fig.16 Posture at pulling

Fig.17 Percent capable of torque at pulling (left)

りの負荷が掛かっていることがわかる。

次に、腰椎に作用する圧縮力の解析結果を各引張り荷重に対して Fig.18 に示す。この場合はいずれも NIOSH の荷物取扱基準である 3,400N を下回っている。

同じく水平力を 20kg としたときの人体の消費エネルギー計算結果を Table 4 (Pull) に示す。計算は前章の Push/pull タスクの Bench height (地面高 0.8m) を使い、押しの姿勢と同じく 10 秒間に 500mm 引き込むケースを想定した。結果は 1.872kcal/min が得られ、これは継続的に耐えうる限界値以下である。これと Table 3 と比較すれば Very light work の範囲になる。

次いで、引張り荷重を変化させて消費エネルギー計算を行った結果を Fig. 19 に示す。この場合はいずれも限界値 8.245kcal/min を下回っている。前節の押しと比べると、この場合は両膝を深く曲げ、しかも荷重点を低くしているため、静的負荷もエネルギー消費も少なくなっている。Fig.19 より消費エネルギーはさほど大きくはな

Fig.18 Low back analysis for pulling

Fig.19 Energy expenditure rate for pulling

いが、Fig.17より下半身の各関節に作用するトルクがかなり大きくなっているため、この場合も引張り荷重は30kg未満とすることが望ましいといえる。

5. 結 言

著者らは人間中心の生産システムを指向し、これまで、生産の中心である人間をヒューマンモデルとしてコンピュータ上で動作させ、作業性や労働安全衛生についてシミュレーションしてきたが、本報では造船作業のうち重筋作業に焦点を当て、重量物の持ち上げ、運搬、押し、引きについて、それぞれ静的負荷解析、腰痛解析、消費エネルギー解析を実施した。得られた主な結論は次の通りである。

- (1) 重量物の持ち上げ時、この重さが30kg以上になれば人体の各関節に作用するトルクも大きくなり、腰痛発生の原因となる椎間板への圧縮力も、肉体疲労上の消費エネルギーもいずれも許容値をオーバーする。荷物の持ち上げは30kg未満が望ましい。
- (2) 運搬作業では重量が40kg以上になれば人体の各関節に作用するトルクが大きくなり、腰痛発生の原因となる椎間板への圧縮力に対する力も許容値に近くなる。荷物の運搬は40kg未満が望ましい。
- (3) 押し作業では、手先にかかる水平力が30kg以上になれば下半身の各関節に作用するトルクも大きくなり、椎間板への圧縮力は腰痛に対する許容値をオーバーする。押し作業では持ち上げと同じく30kg未満が望ましい。
- (4) 引き作業では、両膝を深く曲げ低い位置で引っ張る姿勢をとれば、下半身の関節に作用するトルクは

大きくなるが、静的負荷、椎間板への圧縮力、消費エネルギーいずれも押し作業より低くなっている。同じ力を加える場合は、押しより引きの方が有利であるといえる。ただし、下半身の関節に作用するトルクを考えると荷重は30kg未満が望ましい。

なお、本結論はあくまで健康な青年男子に対する解析結果で、高齢者に対してはこれらの値の1/2が適当であろう。今後はさらに、作業負荷の少ない姿勢について検討すると同時に、作業者の一日の負荷を計算し適正な作業計画が立てられるようシステム化する予定である。

参考文献

- 1) 奥本泰久, 村瀬晃平, 宮越洋一: パーチャルヒューマンモデルによる作業性, 安全性の研究 ー第一報 溶接作業時の人体負荷についてー, 日本造船学会論文集 第187号, (2000, 7), pp.383-393.
- 2) 奥本泰久, 畝正二, 村瀬晃平: パーチャルヒューマンモデルによる作業性, 安全性の研究 ー第二報 造船の作業安全についてー, 日本造船学会論文集 第188号, (2000, 11), pp.745-753.
- 3) Y. Okumoto, S. Matsuzaki: Study of Accuracy Control of Hull Structure, Journal of Ship Production, Vol.10, No.1, (1994,2), pp.51-58.
- 4) 安全工学協会: 新安全工学便覧, コロナ社, pp.701-702.
- 5) 横溝克己ほか: あたらしいワーク・スタディ, 技報堂出版, pp.63-64.
- 6) 池田良夫: 生産管理理論と実践 13 エルゴノミクス, 日刊工業新聞社, pp.125-127.
- 7) M.S. Sanders and E.J. McCormick: Human Factors in Engineering and Design, Seventh Edition, McGraw-Hill, Inc., pp.239-245.
- 8) エティエンヌ・グランジャン著, 中迫, 石橋訳: 産業人間工学, 啓学出版, pp.97,100,126.
- 9) A. Garg, D. B. Chaffin and G. D. Herrin: Prediction of Metabolic Rates for Manual Materials Handling Jobs, American Industrial Hygiene Association Journal, (39) 8/78, pp.661-675.
- 10) 大島正光, 大久保堯夫: 人間工学, pp.95.