

## 超未熟児保育環境のヒューマンインタフェース特性の評価

Human interface for very-low-birth weight infants under intensive care

代表研究者 京都工芸繊維大学工芸学部電子情報工学科助教授 吉田 敦也  
Assoc. Prof., Dept. of Information Tech., Kyoto Institute of Tech.  
Atsuya YOSHIDA

協同研究者 大阪大学医療技術短期大学部教授 長谷川 利典  
Prof., College of Biomedical Tech., Osaka Univ.  
Toshitune HASEGAWA

国立循環器病センター周産期治療科医長 千葉 喜英  
Chief, Dept. of Perinatology, National Cardiovascular Center  
Yoshihide CHIBA

The prematurely born infant begins extra-uterine life in the very unusual environment of an incubator. When designing incubators, although they are aimed at sustaining life and enhancing the possibility of the intact survival of the prematurely born infant, it is very important to also consider the environmental conditions of incubators in terms of the infants' behavioral development and communication.

The technology that supports human communication and its development is called "Human Interface". When considering the human interface with machines, the notion of "User Friendly" emphasizes the easy operation of the machine. However the human interface also emphasizes that the machine should be designed to eliminate communication barriers among people around machines. We can utilize the human interface technology to consider the incubator environment.

From this point of view, we investigated the incubator environmental characteristics associated with intensive care and examined their influence on the behaviors of extremely premature infants and medical nursing staff. We also developed a computer-based behavior monitoring robot (BMR) for measuring the influence of the incubator environment on infants' behaviors.

BMR monitored that extremely premature infants in incubators showed various kinds of behaviors including emotional expressions in response to the environmental stimulation caused by the activities of medical nursing staff in the neonatal intensive care unit, while we observed that behaviors of the medical nursing staff were not responsive to the infants' communicative behaviors, because of the human interface problem in the incubator environment and the nursing program. These results suggested there is a need to reconsider the environmental conditions of neonatal intensive care and to develop a new paradigm of intensive care which would allow behavioral interactions between an infant and a caretaker.

---

### 研究目的

周産期医療の進歩はめざましく、在胎齡 22 週、出生体重 500 g 未満というような未熟児が生存できるようになった。このようなハイリスクな超未熟児は出生と同時に、保育器という特殊な医療機器環境下におかれ、驚くほど多くの機器に取り

囲まれたハイテク集中治療を長期間にわたって受けることを余儀なくされる。本来、超未熟児は母親の胎内で相互作用的な母子交流を体験する段階にあり、その時期に体験する保育器治療環境の影響は大きいものと考えられる。しかし、超未熟児集中治療の現場においては、生命維持の医学的支

援に比べて、心理行動発達への支援は不十分な状況にあり、特に、ハイテク医療機器と児の心理行動との関係を扱ったヒューマンインタフェース研究はほとんど行われていない。ヒューマンインタフェースは、機器操作のわかりやすさというような問題のみならず、機器環境が人の適度な社会的行動と応答性を刺激し、人と人とのコミュニケーションをより円滑に維持・促進する特性について考究するいわば情報環境デザイン学である。こうした立場から、超未熟児集中治療における医療機器環境が児の行動にどのような影響を与えるのか？ また、母子相互作用をはじめとする人間関係の形成にどのような制約を与えるのか？ などについて検討を進めることは、臨床的にはもちろんのこと、心理学や電子情報工学の立場からも急務の課題となっている。

ところで、保育器治療を受ける超未熟児の行動を客観的・恒常的に観察し、ヒューマンインタフェース特性を評価する指標に用いることはむずかしく、技術、労力、集中力の点でも、また方法的にも多くの問題がある。主観的・断続的な観察方法では限界が大きいことは明確であり、保育器内未熟児の行動を自動観察するシステムの開発が期待されている。

以上のような観点から、本研究では、第一に、超未熟児の治療機器環境のヒューマンインタフェース評価に関して、保育器内部と外部の物理的、社会的環境の特性について、視覚、聴覚、触覚の側面から観察・測定を行うこととした。第二の目的は、医療機器環境の未熟児行動への影響を明らかにするためのシステム開発として、マイクロ・コンピュータの画像処理技術による未熟児行動解析ロボットの試作を行うことである。

## 研究経過

### 1) 保育器環境と超未熟児の行動に関して

超未熟児の治療機器環境のヒューマンインタフェース評価に関して、保育器内部と外部の物理・社会的環境について、視覚、聴覚、触覚の側面から観察・測定を行った。観察は主として国立循環器病センター周産期治療科で行った。

視覚的側面に関しては、保育器内の照度とアク

リルカバーの透過特性について、観察を行った。その結果、保育器内部は恒常的にかなりの明るさが保たれていることが明らかとなった。この結果は特に新しい発見ではかいが、同時に、こうした問題が指摘されて久しい今日なお、保育器内部や未熟児集中治療室全体の照度を低下させ、薄暗い時間帯をつくるという看護プログラムが認められないという問題点が指摘され、患者情報モニタリングのヒューマンインタフェース設計に改善の余地が大きいことが明らかとなった。すなわち、未熟児集中治療環境の恒常的明るさは24時間体制の医療・看護を保証するための条件であるが、一方で、環境を薄暗くすることによる児への生理的、心理的効果の大きさを考えると、保育器の照度環境には、医療への支障がない範囲で、静かで落ち着いた夜を周期的に体験できる工夫が重要である。そのためには、集中治療室全体を薄暗くしても、医療者には、明るく、児の身体状況の変化や、モニター類の数値を的確に読み取れるといった環境、あるいは、仮想現実環境やバーチャル保育器の開発といった電子情報技術的支援の検討が必要である。ただし、保育器治療環境の明るさと未熟児行動の関係あるいは発達への影響については、十分な資料はなく、こうした基礎的調査が平行して行われるべきであることは言うまでもない。

アクリルカバーの透過性に関連しては、保育器の中から外を見るという視点で観察を行った。マイクロ CCD カラービデオカメラを保育器内部に入れ、内部から外部を撮影記録した。単眼のビデオカメラは人間の目に比べ、視角が狭いなどの違いがあることを考慮した上で分析した結果によると、保育器内部から見た外部の見えは、部分的には通常とほぼ同じであったが、アクリル板の折り曲げ部分で外界像が屈曲してしまったり、アクリル板の老朽化による曇りで外部が見えなかったり、あるいは、透過性が良くても天井部分や周辺に設置された計器類によって視界が遮られていることが多くあることなどが明らかとなった。このようなことから、超未熟児は、制限され、かつ、歪曲された視覚映像環境にさらされており、場合

によっては、ある種の圧迫感すら感じる可能性があることが推察された。また、保育器内から見えるものは、白衣などを身に纏い、口をマスクで覆い、かつ額から上をキャップで隠した、いわば「目だけ人間」が医療機器のすき間を歩く光景であり、喜怒哀楽などの表情を完全な形で示す人間像に出会う機会がごく限られていることが明らかとなった。超未熟児の出生直後の視力については資料が不足しているが、発達途上にある新生児を扱う未熟児医療にとって、視覚環境の改善は今後の大きな課題である。

聴覚的側面に関しては、保育器内部の騒音、残響、遮音の特性について、保育器メーカーと音響機器メーカーの協力を得て、無響室内での精密測定を実施した。測定結果は従来到我々が行ったフィールド調査にほぼ一致した傾向を示したが、より精密な資料と新しい事実が明らかとなった。すなわち、保育器外部からの音に関しては、相当に低い周波数の音は保育器内部へ伝達されるが、人間の声に相当する周波数帯域の音は伝達されにくい結果が得られた。また、保育器内部で発生する音に関しては、周波数によって定在波が発生し、長く残響したり、場合によっては増幅されたりすることがあるということが明らかとなった。保育器のこのような音響特性は主として、保育器を覆うアクリルの製の箱に起因したものであり、その材質や形状の改良、あるいは保育器サイズの変更などを検討するべきことが示唆された。

触覚的側面に関しては、在胎齢 26 週 6 日、出生体重 939 グラムの超未熟児（女兒）を対象に、生後 7 日から 71 日の期間について、タイムサンプリング法による合計 6 時間のビデオ行動観察を行い、医師や看護婦との社会的接触の質、頻度に関する測定・分析を実施した。その結果、対象児は、“喜び”や“甘え”などの基本情動表出を含めた数多くの行動を自発したり、反応として示したりしていることが明らかとなったが、それらに対する医師や看護婦の社会的応答、特に接触を伴った応答はほとんど無しに等しいことが判明した。すなわち、超未熟児の集中治療場面においては、検査、処置、投薬、授乳など医療・看護に関

わって引き起こされた接触行動は認められるが、児の心理・行動に反応した社会的働きかけや接触行動は極めて低頻度な状態にあることがわかった。この問題は単純に医療者や看護者が忙しいということだけではなく、(1) 保育器内部に収容された超未熟児の微細な行動が保育器外部からは観察しにくいという保育器特性、(2) 定常的な医療場面では、心拍モニター音や警報音などの聴覚情報と、身体表面の色や筋緊張の状態など、比較的静止した視覚情報に注意をはらうという医療の慣習などが、動的で情緒的な行動の変化に対する感受性を低下させているのではないかという観点からも、考察を要するものと考えられた。

## 2) 行動モニタリングロボット的设计開発に関して

超未熟児の行動の定量的な観察を自動化するためのロボットとして、パソコンによるビデオ画像処理技術を利用した行動解析システムの開発を試みた。本システムは、超未熟児のベッドサイド映像を電子ネットワークによってオンラインモニターすることを将来的な目標とした動画像解析システムである。以下これを行動モニタリングロボット (BMR) と呼ぶ。

BMR は、アップル社のマッキントッシュコンピュータ Quadra900 (後に、Quadra950 にアップグレードした) をハードウェアの中心としたスリットスキャナー方式の動画像解析システムである。動画像処理のプログラムは、アップル社の映像情報処理標準規格であるクイックタイム ver 1.5 を用い、ハイパーカード上に実現した。プログラム言語としてはハイパートークとクイックタイム XCMD を用いた。スリットスキャナー方式とは、動画像のスクリーン上に一定の幅をもったスリットを用意し、そのスリットで切り取った部分映像を時間軸上に並べていくものである。このような画像処理を行うことによって、対象児の特定部位の動きを時間的にトレースすることができる。BMR のスリット幅は 1 ドットを最低値として自由に設定できる。フレームサンプルレートは 10 フレーム/秒とした。スリットスキャナー方式はソニー総合研究所が開発したものであるが、ご

協力を得て本研究に利用した。

BMR は次の手順で一連の動画を処理し解析する。(1) 動画情報情報の取り込み, (2) ハイパーカード上でのクイックタイムムービー表示, (3) 動画情報情報のスリット状切り出し, (4) スリットデータの展開表示, (5) 動きデータの抽出・グラフ化。本来のスリットスキャナシステムではリアルタイムな動画処理が行われねばならないが, ここでは動画情報情報の処理そのものに重点をおいて考えるため, クイックタイムムービーとしてすでにファイル化したものを扱うことにした。クイックタイムムービーは, 保育器内の未熟児を撮影した 8 ミリビデオの録画テープから, スーパーマック社のビデオキャプチャーボード“ビデオスピゴット”と付属ソフト“スクリーンプレイ”を使って取り込んだ。ビデオスピゴットは NTSC/PAL 信号の取り込みが可能で, 320×240 ドットおよび, 160×120 ドットの解像度を持つムービーが製作できる。スクリーンプレイは取り込み画像の色合いや 1 秒間に取り込むコマ数などを調節することが可能である。BMR は, 16 インチのモニターを使用した場合, 1 回の処理で 1800 フレーム (ファイルサイズでは 30M バイト以上) が取り込み, 1 フレーム/秒の設定では 30 分間, 10 フレーム/秒では 3 分間の画像を分析することができる。

スリット画像データのサンプリング, すなわち対象児の体の動きの抽出は, 現在のところマウスで行うよう設計した。マウスをドラッグして動かすと, その XY 座標値を 5 フレーム間隔 (0.5 秒間隔) で自動記録するようプログラムされている。サンプリングされたデータはグラフ化してカード上に出力される。

BMR の体動認識性能を調べるため, 在胎齢 26 週 6 日, 出生体重 939 グラムで生まれた超未熟児 (女児) を対象に, 在胎齢 28 週 5 日と 32 週 4 日における左足の動きについて, それぞれ 3 分ずつ 5 回の BMR 観察を行い, ビデオを肉眼で観察する場合との比較を行った。BMR のスリット画像データから体動を解析するに当たっては, (1) 隣り合った数値の差が 3 ドットを越える時に動

きがあったと認める, (2) 3 ドット以上である動きの変位が 10 フレーム内に 2 回以上あるときは, それを 1 回の動きと見做す, という基準を設けた。測定値の比較は, (1) 観察者がビデオを肉眼で見て足の動きを数えた回数, (2) BMR のスリット画像上に現れた足の動きの軌跡の変化を観察者が肉眼で見て数えた場合の回数, (3) BMR のスリット画像上に現われた足の動きの軌跡の座標値をマウスで取り込み, 上記の基準で足の動きを自動計測した場合の回数, の三つの条件間で行われ, (1) と (2) の相関係数は 0.86, (1) と (3) の相関係数は 0.76 という結果が得られた。この結果は, 現在の BMR で足の動きを自動計測した場合, 実際の動きとの相関はやや低下する傾向にはあるが, 使用に耐える範囲であり, これからの改良によっては十分な実用性が確保できることを示している。

### 3) コミュニケーション行動のモニターに関して

BMR を用いた超未熟児のコミュニケーション行動の分析については, 保育器に収容されている超未熟児に呼びかけを行い, その時の行動反応を BMR で測定する実験的調査を行った。

在胎齢 26 週 2 日, 出生体重 854 グラムで生まれた超未熟児 (男児) を対象に, 在胎齢 32 週 3 日, 体重 1004 グラムの時点で, 保育器外部の 15 cm の距離から, 成人男性が, 児の名前を 1 秒間隔で 2 回連続して呼びかけ, 呼びかけ前後 30 秒間の児の頭部の動きをビデオ観察したものを後に BMR で解析した。観察時, 児は仰向けに寝た状態にあり, 顔はビデオカメラ方向に向けていた。意識水準は行動, 心拍, 呼吸などの指標からおおむね覚醒した状態であることが確認された。スリット (1 ドット幅×画面水平幅) は児の鼻の位置に置いた。実験当日, 児は無呼吸発作が頻発し, 保育器内部の酸素濃度は 28% に維持されていた。同様の手続きで, 同日に 5 試行を行い, 解析した結果, いずれの試行においても児の頭部の動きは呼びかけ直後に有意に増大することが明らかとなった。この結果は, 児が, 無呼吸発作の頻発する苦しい状況にもかかわらず, 保育器外部からの呼びかけに対して明確に応答していることを示

している。また、BMR 解析に使用したビデオ映像を後に肉眼観察した結果によると、児は5回の呼びかけのうちの2回において、呼びかけの聞こえた方向へ顔を向け、呼びかけ者を探すような顔部と目の動きを示した後に“微笑む”行動を表示したことが認められた。このビデオ観察の結果によって、BMR が解析した頭部の動きには、児のこのような行動が含まれていることが明らかとなった。

### 研究成果

本研究から次のような成果が得られた。(1) 超未熟児保育環境に関して、ヒューマンインターフェースの立場から見た場合、視覚、聴覚、触覚のいずれの側面においても、現状には問題点が存在することが明らかとなった。総じて、保育器を中心とした未熟児集中治療環境は、刺激が、物理的にも社会的にも、単調でかつ歪曲しており、また相互性にも欠けていることが指摘された。(2) クイックタイム準拠のスリットスキャナー式行動モニタリングロボット(BMR)の開発に成功し、超未熟児の行動を自動解析することが可能となった。複雑な行動を認識するにはまだまだ改良が必要であり、また、完全な自動処理には至っていないが、手足の動きや胸郭の動きなどをモニターすることは容易に行える段階にある。これを利用すれば、超未熟児の無呼吸発作などを検知し、警報を鳴らすことも実現可能な範囲である。このようなBMRを応用した非接触型の胸郭運動モニターの開発は、胎児行動と未熟児行動との比較研究や、高齢者の在宅管理などにも有効に利用されるものと期待される。(3) BMRの実験的利用により、超未熟児が保育器外部からの呼びかけに敏感に反応し、明確な応答行動を表出していることが明らかとなった。また、この知見が得られたことによって、現場の医師、看護婦は大きな刺激を受け、こうした事実の解明が、児への相互作用的な働きかけを開発する強力な要因となることも判明した。

今後の課題としては、(1) 機器環境の改善に関しては、今回の調査で得られた超未熟児集中治療環境のヒューマンインターフェース特性につい

て、行動モニタリングロボットを利用した詳細な分析を行う、(2) 行動モニタリングロボットの技術的側面に関しては、画像ファイルの圧縮方法とネットワーク対応を検討する、(3) 超未熟児の心理行動発達の支援に関しては、父親・母親や医療者との対話支援システムのデザインと応答プログラムの開発を検討する、(4) 保育器医療に関しては、ケアとモニターのニューパラダイムとして行動モニタリングロボットを進行させたバーチャル保育器構想を具体化する、などが挙げられる。

本研究では、BMRの開発にかなりの時間を要したことと、完成したBMRの画像ファイルが当初計画の予想をはるかに超える大きなものになってしまい、記録に膨大なメモリー容量を必要とすることから、長期観察などについて一部計画の変更を余儀なくされた。しかし、当初予定はおおむね達成され、十分な成果を得ることができ、今後の発展にも期待の寄せられるところとなった。この場を借りて関係各位と諸機関に感謝の意を表する。

### 発表論文リスト (1992年度発表順)

- 1) Yoshida, A., Chiba, Y. and Hasegawa, T. (1992): Human interface in the infant incubator environment. Abstracts of 3rd World Symposium "Computer in obstetrics, gynecology, and neonatology", p. 43 (held in Alaska, USA).
- 2) Hasegawa, T., Horio, H., Yoshida, A. and Chiba, Y. (1992): Fundamental concept in the neonatal environmental control system. Abstracts of 3rd World Symposium "Computer in obstetrics, gynecology, and neonatology", p. 54 (held in Alaska, USA).
- 3) Yamaguchi, T., Hasegawa, T. and Horio, H. (1992): Computational fluid mechanical studies of three-dimensional air flow and convective heat transfer in infant incubator. Abstracts of 3rd World Symposium "Computer in obstetrics, gynecology, and neonatology", p. 47 (held in Alaska, USA).
- 4) Horio, H., Hasegawa, T., Murakami, M. and Chiba, Y. (1992): Analysis of alarms around an infant incubator in NICU. Abstracts of 3rd World Symposium "Computer in obstetrics, gynecology, and neonatology", p. 49 (held in Alaska, USA).
- 5) Yoshida, A., Chiba, Y. and Hasegawa, T. (1992): Consideration on human interface of

- newborn intensive care. Abstracts of XXV International Congress of Psychology, *International Journal of Psychology*, 27(3-4): 246 (held in Brussels, Belgium).
- 6) 吉田敦也 (1992): 未熟児保育環境とヒューマンインタフェース. 日本心理学会第 56 大会発表論文集, p. 385 (京都).
  - 7) 堀尾裕幸, 村上雅義, 千葉喜英, 長谷川利典 (1992): NICU における警報と看護スタッフの対応. *Human Interface*, 8, 481-484 (川崎).
  - 8) Yoshida, A., Chiba, Y., Kanzaki, T. and Hasegawa, T. (1992): Reconsideration of the in-traincubator acoustic environment. *Journal of Maternal-Fetal Investigation*, 2: 177-182.