トータル生産システムにおける ヒューマンファクター

解説

キーワード

トータル生産システム, ヒューマンファクター, CAD,
ヒューマンインターフェース, 物流

正員 秦 清 治
香川大学
正員 奥 水 大 和
中京大学
富田 洋
三洋電機

1. まえがき

インターネット等IT (Information Technology) 技術の進展は、生産システムにも大きな変革を引き起こしている。それは、単に企業内における設計や生産のシステム化のみにとどまらず、消費者をも巻き込み、設計の初期段階から、製造、配送、そして回収に至るまでの全ての局面で、企業と消費者が対等の立場で交流することを可能としてきている。この様な状況の中で、トータル生産システムのあり方も、個々の消費者の好みや要求を最大限実現するものとして展開することが可能となっており、それに向けた技術開発が急速に進められている。

本論文では、個人の性格や好み、そして要求などのヒューマンファクターを組み込む生産システムのあり方を、多様な局面から追求する。そして、従来の生産システムとは全く性格を異にする、「消費者個人のための商品製造システム」を構築するための技術開発の状況を、IMSプロジェクトにおける最新の研究例を元に解説する。なお、IMS (Intelligent Manufacturing System) プロジェクトとは生産システムの知的統合化に関する国際研究プロジェクトで、全体で約40のそれぞれの独立した研究プロジェクトからなり、本報告は、そのうちHUTOP (Human Sensory Factor in Total Production Life Cycle) プロジェクトの開発内容に基づいている[1][2]。

2. トータル生産システムの生産サイクル

インターネット等IT技術の進展により、高度に情報化されたトータル生産システムの生産サイクルを、図1に示す。生産サイクルの各所が、バーチャル技術やネットワーク技術を使って、高度にIT化されていることが分かる。

パーソナルデザインやバーチャルプロトタイプフェーズでは、設計やその評価を、短期に、そして顧客の個々の感性や好みを組み込みながら実施しようとするものである。また、バーチャルファクトリーやサイバーファクトリーでは、如何に作業者の満足度を高めながら、効率的な作業を実施するかを検討する。

図1 トータル生産システムの生産サイクル

Fig. 1 Production Cycle of Total Production System

そしてサイバーファクトリーとハイパーデリバリーシステムでは、顧客の最大限の満足と効率化を追求する配送、そしてメンテナンスを実現し、最終的には製品のリサイクルに貢献する。この各局面で、これまでの大量生産から個人の嗜好や感性を最大限実現する生産システムが、次世代のシステムとして追求されているわけである。

これを、図中に示すデザイン部門、生産部門、サービス部門の3部門に分けてそれぞれ検討を進め、最終的に総合システムとして纏めようという試みが、1996年からIMS国際研究プロジェクトの一つであるHUTOP (Human Sensory Factors for Total Product Life Cycle) プロジェクトにおいて追求されている。以下に概要を紹介する。

3. HUTOP研究テーマの概要

HUTOPプロジェクトの研究内容は表1であり、5つのワークパッケージ、13タスクで構成されている。国内メンバーは、6企業と5大学である。

<3.1> WP1: ヒューマンファクターの予備的分析 生産システムの視点から、人の感性を詳細に分析して、体系化した。TASK1-1では、IEF0によって生産システムにおける感性要素の構造をモデル化した。次いでTASK1-2にて、ITシステムとしての生産システムをモデル化した。一方TASK1-3にて、HUTOP生産システムを構築するに際して必要となるヒューマン技術を洗い出した。例えば、センシング技術としての画像処理、センサーヒュージョン、インターフェース技術としてのVR、マルチモーダルイン

Human Factor in Total Production Life Cycle.

By Seiji Hata, Member (Kagawa University), Hiroyasu Koshimizu, Member (Chukyo University), and Hiroshi Tomita, Non-member (Sanyo Electric Corp.).

表1 HUTOP プロジェクトの研究内
Table 1 HUTOP Research Structure

WP1 Basic Research	
TASK1	Architecture Planning
TASK2	Identification of Human Sensory Factors
TASK3	Basic Technologies
WP2 Human Factors in Design	
TASK1	Human Factors Acquisition from Customers
TASK2	Human Interface for Advanced Design
TASK3	Prototype Model of Personal Design
WP3 Human Factors in Manufacturing	
TASK1	Human Factors Acquisition from Producers
TASK2	Human Interface for Human and Machine Cooperation
TASK3	Prototype Model of Human Friendly Manufacturing
WP4 Human Factors in Service	
TASK1	Human Factors in Distribution
TASK2	Human Factors in Maintenance and Recycling
WP5 Integration	
TASK1	Integration of Human Technologies
TASK2	Evaluation of Total Product Life Cycle

ターフェースなどである。

＜3.2＞ デザイン部門におけるヒューマンファクター WP2では消費者自らが自分の生活環境にマッチした製品デザインを行う時代を想定し「貴方の専属デザイナー」というコンセプトの下、(1)製品を提示し、顧客の要求・評価を獲得するインタフェース技術、(2)人の感性とデザインとの関係をモデル化する感性モデリング技術、(3)顧客要求に応じたデザインを生成するデザイン生成技術、等の技術課題に対して、タスクテーマとして形状感性評価システム、意匠設計支援システム、顔表情インターフェース、室内モデル内製品デザイン評価システムの開発を挙げ、各サブシステムを構築してきた。その全体構成を図2に示す。

(1)形状感性評価システム 製品に求められる特性として「機能」、「品質」、「コスト」、「外観」等が挙げられる。前3者は顧客要求のバラツキも少ない。しかし、「外観」に関してはこの限りではなく、製品の企画や設計段階で顧客とデザイナーの感性というヒューマンファクタを扱う新たな技術が必要である。

そこで、HUTOP プロジェクトでは、個々人に焦点を合わせ、パーソナルな生活空間でデザインを行う環境コンセプトを提案した(図2)。デザインアドバイス機能とは、デザインに関する専門知識を持たない一般の人が自分の好みでデザインを進めていくことを支援する機能で、日常の話し言葉からデザイナーの専門用語や設計物理量への

図2 デザイン部門におけるヒューマンファクターの組み込み

Fig. 2 Personal Design System with Human Factor

翻訳を行うシステムである。

①システムの概要 あるオブジェクトに対する人の感性をモデル化する方法として、複数のサンプルを提示し、それぞれのサンプルに対して評価し、その結果を分析、学習する手法が一般的である。まず標準となるオブジェクトに対し、構造的な制約を付加した上でランダムに変形させ、多数のオブジェクトを生成させる。次に生成されたオブジェクトに対して感性的な評価を自然言語で行い、評価結果を学習/解析し、感性のモデル化を行うシステムイメージである(図3)。

②実験システムの開発 本研究では、ソファを事例研究の対象とし、3次元形状を有限個の制御パラメータで自由変形するコンピュータグラフィックスの一手法であるNFFDs(NURBS-based Free-Form Deformations)を利用することで一つの標準サンプルから多数の変形サンプルを自動生成することとした。使用した変形のための制御パラメータを形状の特徴量として、ソファの場合、座部、背もたれ、肘掛の3部品に分け、パラメータを変更することで多数のサンプルを生成した。生成したサンプルに対し感性語による言語表現評価と印象による直接評価を行うシステムを構築した。この評価のための言語

図3 形状感性評価システムの基本概念

Fig. 3 Basic Concept of KANSEI Evaluation System for Designed Shape

図4 自然言語インタフェースを持つ設計支援システム

Fig. 4 Personal Design Assist System with Natural Language Description

表現は、デザイナーによっても異なる。そこで、デザイナーごとに個別にデータベースを作成、個々のデザイナーの個性をも設計システムに取り入れた。

そして、評価システムから抽出された言語表現を利用、それを利用して、図4の様な、言語インタフェースによる設計支援システムとして纏めた。

(2)室内モデル内製品デザイン評価システム

ユーザがパーソナルデザインシステムによって設計された商品进行评估するうえで、自らの生活環境の中でそれを評価し、また機能を確認するシステムとして、パーソナル環境でのデザイン評価システムを開発した。この評価システムを利用することで、ユーザは自らの生活環境にあった商品をデザインし、自らの個性を演出することができる。

このシステムの構成機能には、以下の項目がある。

- ①ユーザのパーソナルな実生活空間を、模様付きのコンピュータモデルとしてデータ化する機能。
- ②実生活空間としての室内空間モデルとCADデータを結合、グラフィック技術を用いてあたかもデザインした商品が自分の部屋にあるかのように表示できる、実モデルによるVR表示機能。
- ③パーソナルな実室内空間モデル中に表示された商品の位置や姿勢を変更し、色やデザインを変化させ、室内の多様な方向から見て評価することのできる、ジェスチャーを利用した簡便な表示操作システム。

システムの全体構成を、図5に示す。図5では、パーソナルデザインシステムによって設計されたソファが、画像センサーによって作成されたユーザー個人の室内モデル中に置かれ、色や模様を変えて室内にマッチするか、ユーザーの感性に合うかが評価されている。

(3)顔による感性ヒューマンインターフェースシステム[3] 瞳孔認識によるアイコンタクト顔映像生成、パッシブなアイカメラ方式の提案、似顔絵生成システムのWeb掲載などの基礎技術を基に、生産システムにおける顔ヒューマンメディアを検討している。図6は、顔を観察する被験者のアイマークを分析した結果例である。これをパーソナルデザインシステムと結合することで、ユーザがどこに着目して製品評価を行うか、などを分析することができ、よりユーザの評価基準を反映した設計が可能になると考えられる。

<3.3> 生産部門におけるヒューマンファクター WP3で検討する工場などの生産部門でのヒューマンファクターとして、バーチャルファクトリサブシステムでは「顧客と作業員、両方の視点」にもとづき、以下の二つのアプローチから研究を推進してきた。

- ①生産現場における人の行動や判断のモデル化、および作業員に関するファクタの評価手法の開発

作業員の能力を活用できる人中心型生産工程への適用を想定し、ヒューマンファクタを考慮したシミュレーション手法等を用いることによって、超多品種少量生産に対応できる柔軟性の確保と生産性および作業員満足度の向上を支援する。

図5 パーソナル空間モデル内デザイン評価システム
Fig. 5 Design Evaluation System in Personal Room Model

図6 顔観察のアイマークの分析
Fig. 6 Eye Mark Analysis of Picture Watching

②交渉や自律的な行動といった人の特徴を、エージェント等の IT を用いてハード・ソフトウェアにより再現品種ごとに異なる複雑な製造手順を必要とする積層型基板や半導体部品を製造するジョブショップ型の自動化工程への適用を想定し、これまで熟練したオペレータの高度なノウハウに頼っていた意思決定を、エージェント技術を用いて高度に自動化する。

すなわち、HUTOPバーチャルファクトリにおける「顧客の視点」とは多品種少量生産形態への対応、「作業員の視点」とは作業員満足向上および機械による人の作業の代替であると想定している。

そして、人間中心型生産システムの具体的な構成例として、U 字形生産ラインを提案している。ここでは、コンベアラインに代表される従来の生産方式では、作業員は一つの持ち場から移動せず作業も比較的単純なものを繰り返すこ

図7 U字ラインレイアウト
Fig. 1 Layout of U-line

とが多いのに対し、Uラインでは多能工として複数の異なった作業を受け持ち、持ち場を歩行により移動し、状況に応じて自らの判断で作業順序を変更したり他の作業を手伝ったりできる。またライン編成の自由度が高く非常に柔軟性が高いなどの特徴がある。

U字ラインの構成例を図7に示す。3人の作業員が、合計10箇所の工程作業を分担し、図中細線の囲みで示される分担範囲内を移動しながら作業を行うモデルである。製品は工程1から10の順に運ばれ完成する。

本プロジェクトでは、このシステムにおけるヒューマンファクターの影響を評価するために、以下の2種のシミュレータを使用した。

①U字形生産ラインの個々の作業員の作業性を評価するための、エルゴノミクス・シミュレータの作成

エルゴノミクス・シミュレータでは、人間のモデルを作成して、作業動作をシミュレートすることにより、作業員の身体的な負荷を客観的に評価することができる。たとえば、人体と工具や部品との間の干渉チェック、各

関節にかかるトルクや可動範囲から作業姿勢評価、標準的な作業時間や消費エネルギーの算出などができる。そして、作業設計の早い段階でのU字形ラインの評価、フィードバックが可能となる。

エルゴノミクス・シミュレータで得られる標準作業時間とエネルギー消費量を基に、工程シミュレータにおいて作業時間のバラツキの要因である部品公差による作業時間遅延、機種切り替え時間、調整・検査工程における作業時間バラツキ、疲労による作業時間の遅れや作業ミス、作業者の体格・体力差、「あせり」や「ゆとり」などの精神的要因などを組み込んだ作業モデルを作成し、1日単位のシミュレーションを行ない、1日の総エネルギー消費量などから、個々の作業者の肉体的・精神的負担を解析する。工程シミュレーションの結果、特定の作業者の負担が大きければ、その作業者の作業負担を軽減するよう作業配分を見直して全体のラインバランスを調整する。

② U 字ラインシミュレーションへの協調ロジックの組込

ここでは U 字ラインの特徴である協調動作をU字ラインシミュレーションに導入する。協調動作に関する判断ロジックとして、協調判断を行うための人特有のインタフェースである「観察」および「コミュニケーション」の2つに注目し、協調モデルの具体化を行った。協調モデルを図8に示す。

各作業者は「判断ロジック部」による状況判断と、「作業実行部」による実作業を繰り返し行うことによって作業を進めていく。判断ロジック部への入力、工程の進捗状況や他の作業者の状態などを確認する「観察」と、他の作業者からの要求である「依頼」からなる。判断ロジック部ではこれらの入力に基づいて判断を行い、「観察」により自発的に、あるいは「依頼」に対して手伝えることが可能であると判断した場合に、「了承」することで協調体制となる。また他の作業者に対して「依頼」することもある。これらの結果が作業指示として作業実行部に伝えられる。このような「依頼」と「了承」により、作業仲間間の「コミュニケーション」を実現する。

協調時における作業者の移動経路の例を図9に示す。

図8 作業者の協調モデル
Fig.8 Worker cooperation model

強調モデルの組み込みは、U字形ラインの評価に効果的であった。さらに、本シミュレータには、作業スピードの変動や、ヒューマンエラーのモデルを組み込んだ。また、将来的にはエルゴノミクス・シミュレータによる人間の作業時間の組み込みも有効と考えられる。

＜3.4＞ サービス部門におけるヒューマンファクター WP4 においては、次の項目について取り組んできた。

- ① マルチメディアにおける製品情報の視聴覚コミュニケーション
- ② SCM においてモノの流れを最適化するアルゴリズムとシミュレーション技術

サービス・流通に関する技術というのは、図10に示すように、顧客と生産者がやりとりし、顧客に満足を与えていくための仕組みに関わる分野である。従って、WP2、WP3における各サブシステムとの結合を図るべく検討を進めることが必要であると考えられる。

前者①は、顧客に対するアドバタイズメントの環境における効果的なコミュニケーションに関わるものである。そこでこの技術を WP2における顧客のデザイン環境への展開・融合を図る。例えば、デザイン設計において、動画シーンの視覚的なアクセントや聴覚的な効果を付加することにより、より感覚的なデザイン設計環境や様々なシーンを想定した製品評価環境を支援することが可能になる。

また後者②は、WP3であるバーチャルファクトリとの連携を密に行う必要がある。WP4では、受注情報に基づ

図9 作業者の移動経路
Fig.9 Worker route

図10 顧客から見た HUTOP サイクル
Fig.10 HUTOP Cycle for Customers

いて製造指示を出す。WP4と WP3との共通部分である製造マネジメントサブシステムでは、製造指示に基づいて資材所要量と基本生産計画を作成し、WP4へは調達指示を、WP3へは基本生産計画を渡す。WP3では、ジョブショップ型ラインに適用する「自己組織化リアクティブスケジューラ」または、人中心型ラインや単純な自動化ラインに適用する「工程設計シミュレータ」において、基本生産計画の評価を行い必要に応じて修正計画を製造マネジメントサブシステムへ返すとともに、各々が作成した生産計画に基づいてライン (WP3) へ製造指示を送る。

図10に示す様に、顧客にとっては、自分の欲しいものが欲しいときに欲しい値段で手に入ることが満足につながれると思われる。しかし、個人の好みは多様化してきているため、企業にとっては、顧客の好みをいち早く正確にキャッチし、いかに素早く供給するかという仕組みが望まれる。

4. むすび

本稿では、生産プロセスの各局面にヒューマンファクターに対する対応を大幅に組み込んだトータル生産システム検討プロジェクト、HUTOP について、その活動内容を紹介することにより、生産システムにおけるヒューマンファクターのあり方を概説した。今後の生産システムが、顧客や作業者の個性や好み、感性を重視した、トータルシステムとして構成されていくことは、時代の趨勢とも言えよう。本文がその一端を紹介できていれば、幸いである。

なお、本解説はIMS国際共同研究プログラムによる国内研究開発企画「製品のライフサイクルにおける感性・官能評価システムの開発 (HUTOP)」に基づくものである。関係各位に感謝する。

(平成13年4月12日受付)

文 献

- [1] 秦、貝原コーディネート：シンポジウム「トータル生産システムとヒューマンファクター」, 平成13年電気学会全国大会論文集, pp. 1697-1735

- [2] Koshimizu, H., Hata, S. and Tomita, H. : General Aspects of HUTOP-- Human Sensory Factors Proc. SMC2000, TP-1.11-1, Nashville (Oct. 2000)

- [3] 製品のライフサイクルにおける感性・官能評価システムの開発に関する研究成果報告書 (普及版), IMS9919, (財) 製造科学技術センター IMS センター (2000年3月)

秦 清治

(正員) 1948年2月1日生まれ。1971年6月東京大学精密機械工学科卒業。同年(株)日立製作所入社。パターン認識の産業応用の研究などに従事。1990年12月同社退社。1991年1月香川大学赴任。現在、工学部知能機械システム工学科教授、学科長。知能メカトロニクスの研究などを実施。

奥水 大和

(正員) 1948年2月7日生。1970年山梨大学工学部卒、1975年名古屋大学大学院工学研究科博士課程了。(工博) 名大助手、名古屋市工研を経て、1986年中京大学教養部教授、1990年より同・情報科学部教授 (学科長)。画像産業応用、Hough 変換、コンピュータ似顔絵 PICASSO などの研究に従事。

富田 洋

1946年6月18日生。1971年3月山口大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了。同年三洋電機(株)入社。主に熱転写記録、生産管理、冷熱技術の研究とその応用開発を経て、現在、次世代生産システム関連技術に関する研究開発に従事。メカトロニクス研究所担当部長。日本機械学会会員。