

「高度メディア社会の生活情報技術」

平成 13 年度採択研究代表者

金出 武雄

(独立行政法人産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター 研究センター長)

「デジタルヒューマン基盤技術」

1. 研究実施の概要

デジタルヒューマンは、人が関わるシステムにおける Weakest Link を解決するために、人間機能をコンピュータ上に実現したモデルである。モデル化すべき人間の機能を、生理解剖、運動機械、心理認知の 3 つの側面で考え、人間機能の統合モデルをめざす。デジタルヒューマン基盤技術はこのための、人を観察する技術、モデルで再現する技術、結果を提示する技術、から構成される新しい複合境界領域の分野である。本研究では、(a) 人間機能の統合的モデリングをめざす“人を知るデジタルヒューマン”を基軸とし、その具体的事例として、(b) システムが人間を観察し、人間を支援するように環境を制御する“人を見守るデジタルヒューマン”，(c) デジタル空間の中で人間と環境の親和性を評価し、人間と調和がとれるよう実環境を設計する“人に合わせるデジタルヒューマン”を研究する。また、(d) これらの技術環境を与える“デジタルヒューマンプラットフォーム”を構築し、公開する。これらの具体的研究課題を通じ、実際的成果をあげつつ、知的資産を形成し、新研究分野デジタルヒューマンの確立に寄与する。

2. 研究実施内容

(1) 人を知るデジタルヒューマン

人間機能の 3 つの側面のうち、心理・認知に関わる機能は形状や機械機構のような物理的な手がかりに乏しく、もっともメカニズムが解明されていない機能である。ところが、実際にはこの部分のモデルを含まずに解決できるアプリケーションは少なく、人を見守るデジタルヒューマンや、人に合わせるデジタルヒューマンでもなんらかの心理・認知的な機能を含んだモデルを構成せざるを得ない。そこで、形状や運動よりも心理・認知的側面が強く関わる具体的課題設定を通じて、人間の心理・認知的反応を再現するメカニズムの解明を目指すのが、人を知るデジタルヒューマン研究である。

第 1 は、手術中の患者の生理・心理反応を再現する研究で、内視鏡下副鼻腔炎手術をトレーニングするための患者シミュレータの開発を具体的課題として設定した。手術中の患者の生理データを蓄積・分析し、確率ネットワークを用いて患者の心理状態を反映し、状

況に応じた心拍・血圧挙動を再現するモデルを開発した。平成17年度では、開発した生理・心理反応シミュレータを体験できるCGベースの手術シミュレータを試作した。第2は、人間の動きからその行動を認識する研究である。生物がもつ5つの基本運動様式が人間の心理状態（迷い、退屈、眠気、焦り）に応じて無意識的に発現するという動物行動学の知見に基づき、通常の間行動に、5つの基本運動様式がどの程度含まれているかを定量化する技術「舞紋」を利用する。舞紋で表現される運動様式が大きく切り替わる姿勢をキーフレームとして自動抽出する技術を開発した。モーションキャプチャ装置で計測した一連の動きのデータに対して、同手法を適用して運動を分節化し、分節化された運動クリップをデータベースと照合して運動の意味づけを行う研究を進めた。さらに、平成17年度では運動画像の局所光学流れ（optical flow）に着目した行動認識技術の研究を進めた。光学流れ特徴量は計算対象領域を適切に選ぶ必要があるが、その領域は身体の大きさや動作によって異なると予想され、一意に決定できない。そこで、フラクタル順序づけを用いたスケールフリーな光学流れ特徴量を設定した。この特徴量をベクトル量子化により圧縮した上で、その時系列データを隠れマルコフモデルで学習し、行動認識する（図1）。平成17年度では上記の研究に加え、ウェアラブルセンサによる生体信号計測とメンタルヘルスマニタへの応用をめざした研究を開始した。これらの一連の研究により、生理信号や行動など身体から発せられる情報から、人間の心理状態を知る技術を確認する。

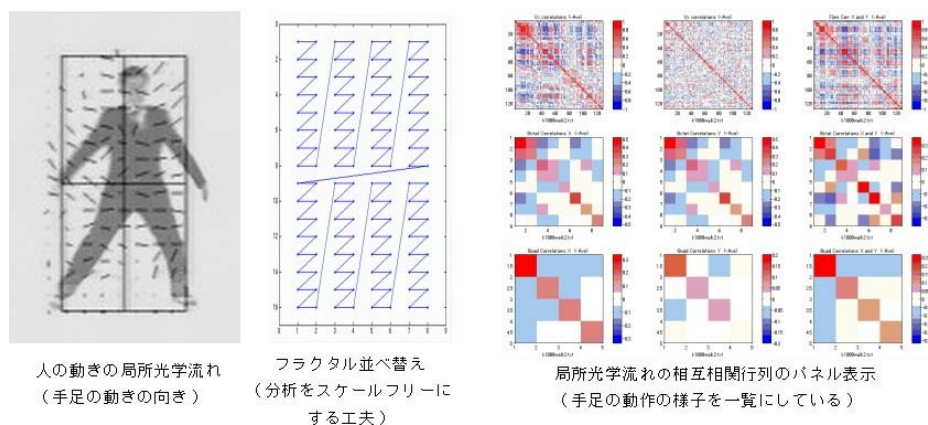


図1 局所光学流れによる行動認識

（2）人を見守るデジタルヒューマン

寝室や居室、工場などの生活・就労空間にさまざまなセンサを備え、生活者の状態をモニタリングすることで、生活を支援する“Enabling Environment”を構築することが人を見守るデジタルヒューマン研究の目標である。平成16年度までに、睡眠時無呼吸症候群のモニタリングを具体例とした生理機能の観察・モデル化技術、および超音波3次元タグ技術に基づく日常生活空間内での観察技術の研究を進めてきた。この観察技術を利用することで、(a) 老人福祉施設での高齢者の夜間行動見守りシステム、(b) 行動を英訳することで英会話

学習を支援する“Learning by Doing”システム、(c) 乳幼児の住宅内行動を模擬することで住宅内事故に繋がるハザードを発見、低減する技術、(d) サーバルーム内の行動をモニタリングしてセキュリティを保持するシステム、(e) 工場の製造ラインでの生産行動をモニタリングしてネジの締め忘れ等を検知するシステムなどの具体的アプリケーションに展開できることが明らかになってきた。それぞれ老人ホームや英会話専門学校、小児科医師、企業等と共同研究を進めながら、人間行動を再現するための共通基盤モデルの構成を目指している。平成17年度では、被介護者にセンサの取付を必要としない超音波レーダシステムを老人福祉施設に試験導入し長期間の運用を実施した。この結果として被介護者の夜間の生活パターンが明らかになり、介護計画支援に役立つことが確認できた。また、乳幼児の住宅内事故防止については乳幼児と母親の行動データを記録・分析する実験室研究によって、9ヶ月～2歳までの乳幼児では、40cm程度の距離にある対象物に対してもっとも興味を誘発されやすいことが明らかになった。これに基づいて、乳幼児行動シミュレータの元となる興味誘発度分布図を生成できるようになった（図2）。さらに、小児科医などから得られた事故データに基づいて、あり得る事故態様を乳幼児行動シミュレータで可視化した事故再現コンテンツを開発した（図3）。

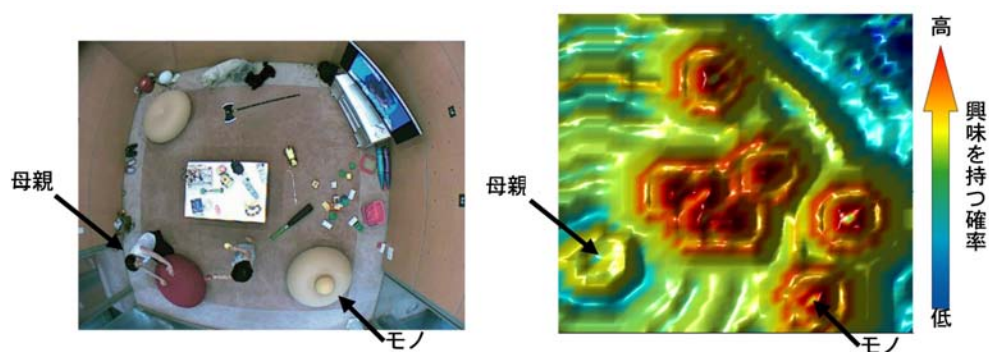


図2 興味誘発度分布図



図3 事故再現コンテンツ

(3) 人に合わせるデジタルヒューマン

人に合わせるデジタルヒューマンでは、設計段階で製品と人間のインタラクションを再現できる人間モデルの構築を目指す。(a) 個別に適合性を向上させる衣服や靴などをターゲットとしたオンデマンド着装品のための電子商取引技術の研究と、(b) 集団的・統計的なデータに基づいて量産品の適合性を向上させる自動車、包装品などをターゲットとした製品設計用ヒューマンシミュレータの研究を行ってきた。

(a) オンデマンド着装品のための電子商取引技術としては、平成16年度までに静的な形状を計測・モデル化し適合製品を設計するための基盤技術を確立した。平成17年度はそれを触覚・感性・動的変形に拡張し、人間の運動中の変形や表面触覚感度分布などに応じて製品のフィット性を向上させる技術の研究と、フィットする製品を感性モデルに応じて推奨する販売技術の研究を進めた。具体的研究成果の一例として、購入者個人の顔の物理量（寸法・形状特徴量）とメガネの物理量から、その購入者がそのメガネを掛けたときに第三者に与える印象をコンピュータ上でシミュレーションする感性モデルを開発した（図4）。これにより「店頭での人体計測ーモデル化ー人体データベースー統計処理ー適合製品設計ー店頭での製品推奨」までの一連の技術要素が整った。

(b) ヒューマンシミュレータの研究は、個別に進められてきた自動車乗降動作をターゲットとした全身モデルの研究と、詳細な手モデルの研究を、可視化プラットフォーム上に統合した。統合したヒューマンシミュレータを「Dhaiba（ダイバ）：Digital Human Aided Basic Assessment system」と呼ぶ（図5）。Dhaibaは、人に合わせるデジタルヒューマン研究の具体的なアウトカムであり、平成18年度ではこの開発に重点を置く。Dhaibaの要素技術研究では、機能的な人体寸法を精度良く再現でき体形に合わせたスケーリングが可能な肩関節モデル、携帯電話を仮想操作してボタン配置を仮想評価するハンドシミュレータ、指先の変形と摩擦を再現する有限要素モデルの開発などを行った。

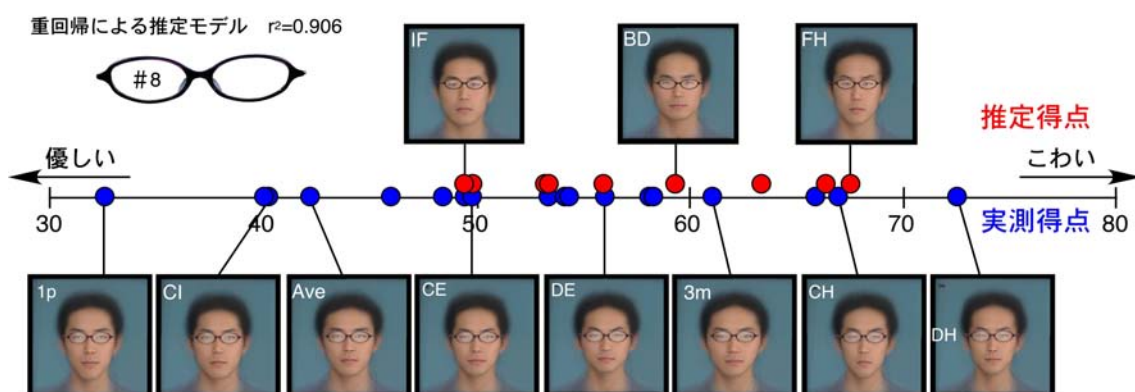


図4 感性モデルによるメガネ推奨技術
(#8のメガネについて、さまざまな合成顔との組合せを見たときの若い女性の感性をシミュレーションした結果)

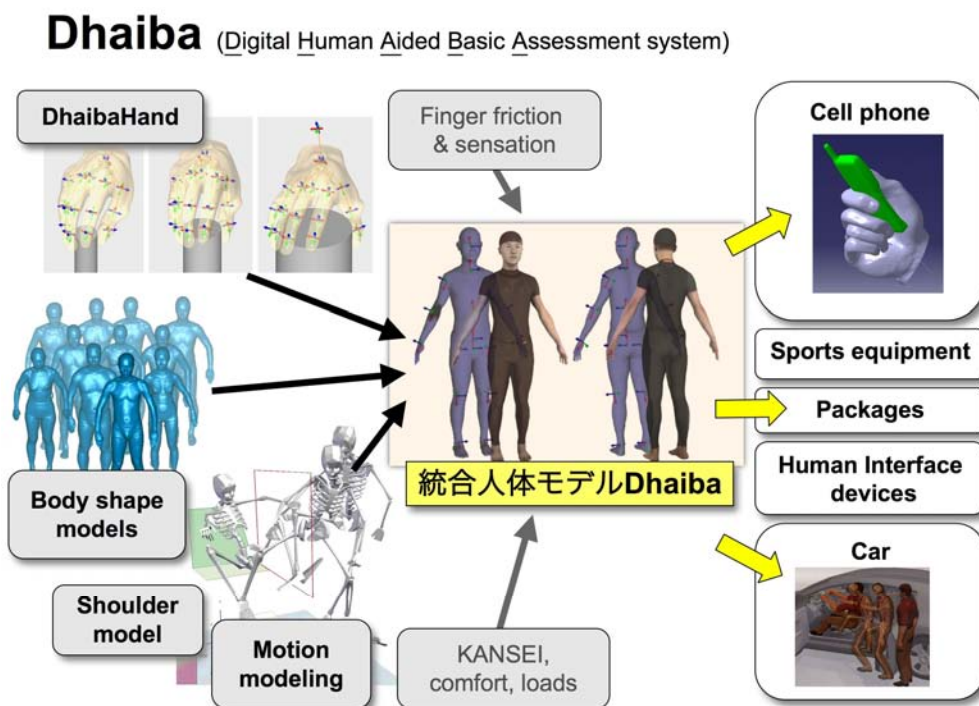


図5 統合人体シミュレータDhaiba

(4) デジタルヒューマンプラットフォーム

上記の3つの研究を支える基盤として、重要な知的資産を形成する部分が、デジタルヒューマンプラットフォームの研究である。ヒューマノイドによる実体提示を実現するハードウェアプラットフォーム、ヒューマンシミュレータというソフトウェアプラットフォーム、さらにそれらを支える人間特性データコンテンツの3つの研究を進めている。

ヒューマノイド研究は、デジタルヒューマン基盤技術の掲げる人間の運動機械機能と心理認知機能に対して、得られたモデルを実証し利用するための提示技術である。しかし、実際にはそのみならず、逆にヒューマノイドロボットを人間代わりに用いて再現可能な実験を行うことにより、これらの機能の計測技術の獲得にも利用できる。平成16年度までに、ヒューマノイドロボット移動自律性向上のために、人間の歩行安定制御を参考にした二足歩行実現、3次元視覚による環境認識技術、その環境に応じて移動経路と安定な全身運動計画を瞬時に計算する技術を開発してきた。本年度は、これらの技術をヒューマノイドロボットに統合するための統合化研究環境を開発した。これはリアルタイム光学式モーションキャプチャシステムを用いたVR技術で、実世界にロボットの処理結果（認識した環境、生成した経路計画）を投影することで、各機能の性能を個別に検証できるものである。また、ヒューマノイドロボットの中でも技術的に高精度化が遅れている3次元視覚の部分を、モーションキャプチャシステムで代行することで、障害物を避けながらの移動などシミュレーション環境でしか実証できなかった機能を、ヒューマノイドロボットHRP2-DHRC

を使って検証した。また、このための周辺技術として、人間とヒューマノイドの二足歩行を分析するための装着型6軸床反力計、分布圧力計を開発した。さらに、昨年度までに開発したセンサシステムを拡張し、高度な地図作成システムを開発した。

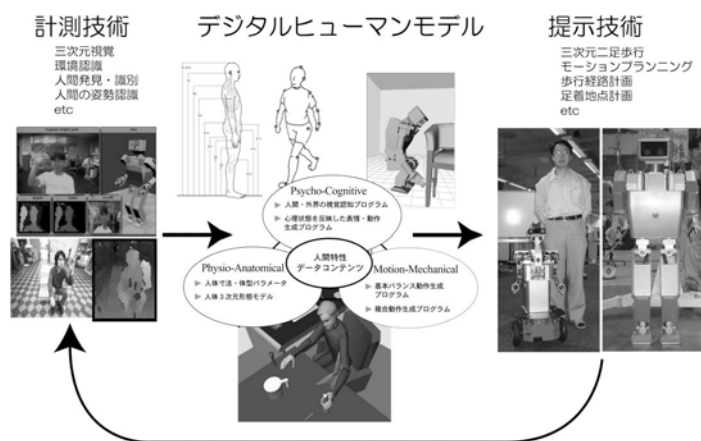


図6 ヒューマノイド研究

人間特性データコンテンツについては、デジタルヒューマン基盤技術の研究を通じて蓄積された人体寸法・形状データや、文献データベースなどを公開した。データベースは累積で3000件を越えるダウンロードがあり、文献データベースは7800件を越える利用があった。

3. 研究実施体制

「人を知るデジタルヒューマン」グループ

①研究分担グループ長：松井 俊浩（産業技術総合研究所デジタルヒューマン 研究センター、総括研究員）

②研究項目：

- ・ 人間行動から心理状態を推測する心理行動モデル
- ・ 心理信号から心理状態を推測する心理生理モデル

概要：人を知るデジタルヒューマンでは、デジタルヒューマンの研究基盤となる、心理・知覚・認知を含む人間機能モデルを研究する。具体的な研究課題設定を通じて、人間の心理・知覚・認知という高次機能を、計算予測が可能な人間の生理・解剖・運動機能との定量的・確率的関係性として解明し、それらを計算機上で再現することを目指す。ここでは、行動者の運動様式から行動分析をして意図を含めた行動の理解を実現する研究、医師（行動者）の手術行為において患者（受動者）の心理生理反応を模擬シミュレータとして提示する研究、人間の二足歩行安定制御機構を解明する研究、人間の表情と感情、感性の関係を解明し、自然な表情再現を実現する研究などを実施する。

「人を見守るデジタルヒューマン」グループ

①研究分担グループ長：西田 佳史（産業技術総合研究所デジタルヒューマン 研究センター、チームリーダー）

②研究項目：

- ・ 無拘束観察技術と睡眠体動・生理モデルに基づいて、睡眠中の生理状態を見守る技術
- ・ 無拘束観察技術と生活行動・心理モデルに基づいて、生活者の行動状態を理解し、支援する技術

概要：人を見守るデジタルヒューマンでは、人間の生理・心理状態や、行動状態を、無拘束でモニタリングし、必要に応じ人間の行動を支援する技術の開発を行う。具体的事例研究として、第1には睡眠中の人間の生理状態を無拘束でモニタリングし、睡眠時無呼吸症候群の診断に役立つデータを蓄積するシステムを研究する。第2には、さらに困難かつ有用な課題として、生活する人間の行動状態を無拘束でモニタリングし、人間の行動、心理状態を自動的にデジタル記述して、それに応じた支援を行うシステムの研究を行う。

「人に合わせるデジタルヒューマン」グループ

①研究分担グループ長：持丸 正明（産業技術総合研究所デジタルヒューマン 研究センター、副センター長）

②研究項目：

- ・ 人体形状・変形・知覚特性に応じ、人体に直接フィットする製品の適合性を計算機内で事前評価する技術
- ・ 人体寸法・運動・触覚・認知特性に応じ、自動車や住宅、マウス、携帯電話などの製品の操作性を計算機内で事前評価する技術

概要：人に合わせるデジタルヒューマンでは、人間の寸法・形状・運動・変形・知覚、さらには、間違いを起こす認知的機能をモデル化するとともに、その個人差に着目し、個人の人体特性に適合する製品を計算機上で設計・構成するための技術进行研究する。第1は、靴やメガネ、衣服など身体に直接フィットし、主として形態的特性と触覚特性が強く関与する事例である。解剖的形状モデルに、運動に伴う変形モデルと触覚知覚特性モデルを統合し、圧迫感やフィット感を仮想評価する技術を開発する。第2は、自動車、住宅、携帯電話などの製品と人間の親和性を、計算機上で仮想評価する事例である。歩行や階段昇降のようなロコモーションだけでなく、荷物を棚に収める、自動車に乗るといった製品との物理的な相互作用が大きい運動を、個人の体型や製品の形状に応じて合成する研究をする。特に、手については、全身ではあまり考慮する必要のない変形と摩擦を考慮し、さらに多点接触による力の分配を再現可能な把持機能をモデル化し、製品形状を把持する運動の合成を目指す。

「デジタルヒューマンプラットフォーム」グループ

①研究分担グループ長：加賀美 聡（産業技術総合研究所デジタルヒューマン 研究センター、チームリーダー）

②研究項目：

- ・ 人間特性データコンテンツの蓄積と発信
- ・ 人間の反応・運動を実体提示するヒューマノイドの研究

概要：デジタルヒューマンプラットフォームでは、上記3つの研究の共通基盤要素となるソフトウェア（ヒューマンシミュレータ）と、それによって予測された人間の反応・行動を実体提示するヒューマノイドの研究と、それを支える人体特性データコンテンツの蓄積を行い、デジタルヒューマン基盤研究としての知的資産の形成を目指す。ヒューマノイドは、ヒューマンシミュレータで予測された結果を実体提示するプラットフォームであり、そのために必要となる三次元視覚、空間マップの獲得技術などのセンシング技術、マップに基づく移動経路計画技術、安定した二足歩行運動計画技術などの動作計画技術、さらにそれらをリアルタイムで制御する技術の3つを進め自律性の高いヒューマノイドロボットのプラットフォームを開発する。

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

（1） 論文（原著論文）発表

国内

- 金出武雄, 松井俊浩, “Human, the Weakest Link,” 人工知能学会誌, 20巻, 5号, pp. 550-556, 2005.
- 酒井健作:「患者の物理・心理・生理モデル」, 情報処理学会学会誌, 特集「医療のためのデジタルヒューマン技術」, 2005年12月号.
- 宮崎祐介, 宇治橋貞幸, 持丸正明, 河内まき子: 日本人の形態に基づいた頭部有限要素モデルの構築と衝撃シミュレーション, 日本機械学会論文誌, 71(704), pp.106-113, 2005
- 河内まき子, 持丸正明: 形状スキャナによる人体寸法計測の誤差要因の検討: 計測時の姿勢による寸法の違い, Anthropological Science, Japanese Series, 113(14), pp.63-75, 2005
- 宮崎祐介, 宇治橋貞幸, 持丸正明, 河内まき子: 代表形状合成法による個体別有限要素モデルの創成, 日本機械学会論文誌, 71(712), pp.1646-1652, 2005

国際

- Y. Motomura, T. Kanade, “Probabilistic Human Modeling based on Personal Construct Theory,” Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.17, No.6, 2005
- K. Kitamura, Y. Nishida, N. Matsumoto, Y. Motomura, T. Yamanaka, H. Mizoguchi, “Development of Infant Behavior Simulator: Modeling Grasping Achievement Behavior Based on Developmental Behavior Model and Environmental Interest Induction Model,” Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.17, No.6, pp. 705-716, 2005

- Dohi, M., Mochimaru, M., Kouchi, M.: Tactile sensitivity and elasticity of the sole of the foot as factors of shoe comfort, KANSEI Engineering International, 5(2), pp.9-14, 2005
- Yahara, H., Higuma, N., Fukui, Y., Nishihara, S., Mochimaru, M. et. al: Estimation of Anatomical Landmark Positions from Model of 3-Dimensional Foot by the FFD Method, Systems and Computers in Japan, 36(6), pp.26-38, 2005
- Yamazaki, S., Ikeuchi, K., Shinagawa, Y.; Plausible Image Matching: Determining Dense and Smooth Mapping Between Images Without A Priori Knowledge, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 19(4), pp.565-583, 2005
- Kase, K., Teshima, Y., Usami, S., Kato, M., Yamazaki, S., Ito, M., Makinouchi, A.: Volume CAD: CW-complexes based approach, International Journal of Computer-Aided Design, 37(14), pp.1509-1520, 2005
- Mochimaru, M., M. Kouchi, H. Yahara, and Y. Fukui: Automatic landmarking based on 3-D foot database using the FFD method. SAE 2004 Transactions Journal of Aerospace, 2005.
- Kouchi, M., M. Mochimaru and M. Higuchi: A validation method for digital human anthropometry: towards the standardization of validation and verification. SAE 2004 Transactions Journal of Aerospace, 2005.

(2) 特許出願

H17 年度出願件数： 0 件 (CREST 研究期間累積件数： 3 件)