

Title	自律型商品に必要な製品化プロセスの変革：ロボット掃除機ルンバの事例研究
Author(s)	間野, 茂; 延岡, 健太郎
Citation	年次学術大会講演要旨集, 32: 42-45
Issue Date	2017-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/15018
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

自律型商品に必要な製品化プロセスの変革： ロボット掃除機ルンバの事例研究

○間野 茂（一橋大学イノベーションマネジメント政策プログラム）、延岡 健太郎（一橋大学イノベーション研究センター長・教授）

1. 研究の背景と目的

従来、製品の顧客価値を決める中心となっていた機能や仕様に代わって、近年、使い勝手やデザイン等仕様書では記載できない、いわゆる“暗黙的な顧客価値”と呼ばれる顧客価値が重要な役割を果たすようになってきた。この動きを受けて、家電や自動車を代表とする組み込みソフトウェア製品ではソフトウェア開発工数が爆発的に増加している。さらには人工知能を搭載し、製品自身が重要判断を行う自律型ロボットの機能が組み込まれる製品（今後、自律型商品と呼ぶ）も登場してきている。

この変化に対応した製品開発のマネジメント手法として、従来のシーケンシャル型プロセスから、作業を並列で進めるコンカレント型プロセス、情報交換を頻発に行うイタレーション手法等が提案されている。これに加え製品開発プロセスで100%完成させて市場に出すのではなく、完成途上のものを市場で継続改良してより良い製品に仕上げていく手法も登場している。これらの新手法はソフトウェア主体の製品に導入が進んでいるが、同列の重要性をもってハードウェアとソフトウェアが共存する製品におけるベストプラクティスの報告はなされていない。

アイロボット社のロボット掃除機『ルンバ』は、人工知能を搭載した民生用自律型ロボットのパイオニアである。2002年の発売以来、大手電機メーカーとの競争にもかかわらず、15年間圧倒的なシェアを維持し、停滞する家電製品においてロボット掃除機という新しいカテゴリーを確立した。本研究は、ルンバの開発プロセスおよび改良プロセスの詳細を検討することにより、オリジナルなハードウェアとソフトウェアが共存する製品において、暗黙的な顧客価値を含めた顧客価値を迅速かつ効率的に実現することのできる製品化プロセスへの示唆を得ることを目的とする。

2. 先行研究および、自律型商品における製品化プロセスの課題点と課題への対応

暗黙的価値+明示できる機能、仕様（今後、統合的価値とよぶ）を併せ持った製品を短期間に効率よく開発するためには、コンカレントエンジニアリングとフロントローディングをうまくマネジメントすることが必要である。コンカレントエンジニアリングでは、企画、設計、開発、テスト、生産、販売といった製品化プロセスに必要な要素をパラレルに進行させる。パラレルに進める真髄は、プロジェクトメンバーの情報知恵を結集し、出来るだけ開発初期に発生の予想される課題点、問題点を洗い出し、事前に対策を打つことにより後戻りのない開発を実現する点にある。プロジェクトメンバーの情報知恵を結集するため、担当内でまとまった時点で情報を交換するのではなく、定常的に情報交換の反復を行うのがイタレーションである。これらの仕組みは、過去からの情報を含めてプロジェクトメンバーの情報知恵を結集すれば、開発しようとする製品の統合価値を十分把握できるという前提で有効である。

しかし、インターネット上のアプリケーションソフトを代表とするソフトウェア開発では、ニーズや技術の変化が激しく、クロスファンクショナル開発チーム内だけで顧客統合価値を把握するのは不可能と考える。この立場からスクラム等を代表とするアジャイルソフトウェア開発手法では、フロントローディングに変えて、スプリントと呼ばれる一週間からせいぜい二三か月の短期目標を設定し、完成ごとに顧客や実稼働での評価を得て、結果を次のスプリントにフィードバックさせる。この短期開発の反復を行うことにより統合的価値を持った製品を短期間に効率よく開発することを実現している。

自律型商品ではオリジナルなハードウェアも構成要素に入っているため、アプリソフトのように短期開発日程を設定し、市場の評価を得ながら改良していくことは困難である。その一方、常に変化する稼働環境に対応して、タスクを達成するための効率的行動を製品自らが判断し実行する仕様を組み込む必要があるため、最適設計をクロスファンクショナルチーム内で開発初期に把握することも困難である。この課題を解決する手段として以下の方向性が想定できる。

- ①製品のハードウェア仕様（少なくとも稼働環境とやり取りしたタスクを達成するための基本仕様）は市場投入時に固定し、現場の稼働データによるソフトウェアを主体とした迅速かつ継続的改良
- ②製品の逐次的、継続的改良を容易にする、モジュール形式の制御機構

3. アイロボット社（ロボット掃除機ルンバ）の事例研究

(1) ロボット掃除機市場と競合企業

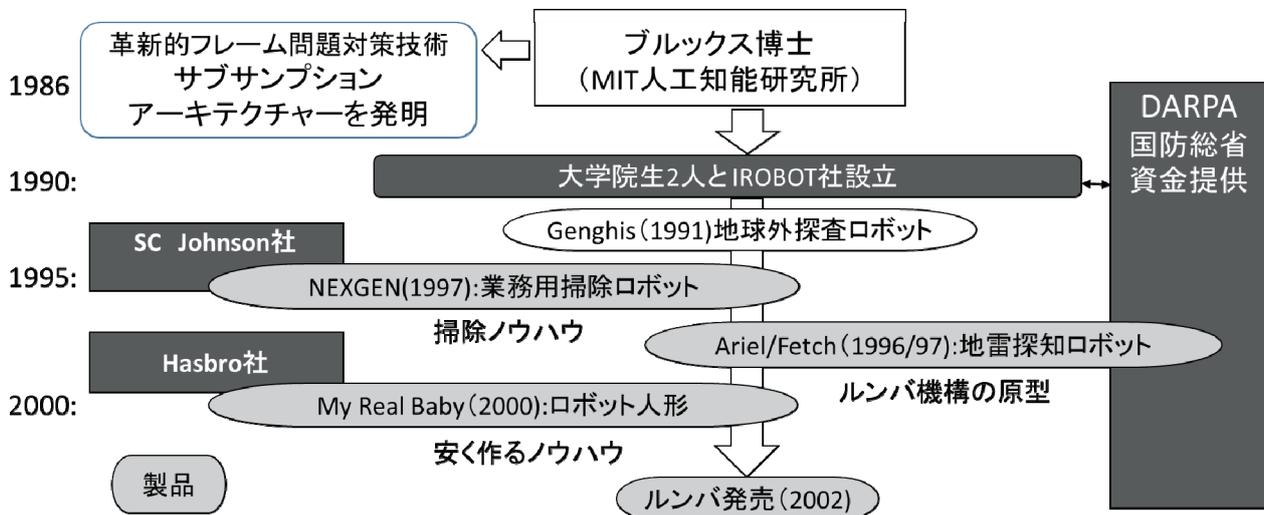
ロボット掃除機は順調に売上を伸ばし、家電の中でロボット掃除機という新しいカテゴリーを確立した。現在のロボット掃除機グローバル市場規模は年間約 400 万台である。その中でアイロボット社ルンバは、2002 年の発売以来トップシェアを維持し、2016 年のシェアは 63%で、二位のエコバックス (10%)、三位のサムソン (3%)、四位の LG (2%) に大差をつけている。2016 年の業績は、ルンバの売上高が約 600 億円、営業利益は 60 億円を超え、順調な成長を続けている。

ルンバの成功は先行逃げ切りと想定している人が多いが、世界初のロボット掃除機は、2001 年、大手電機メーカーであるエレクトロラックス社から出されたトリロバイトである。しかし約 30 万円という高価格のため普及することは無かった。さらに 2002 年のルンバ発売に前後して、2001 年にダイソン、2002 年にパナソニック、2003 年に日立からロボット掃除機の試作機が発表されている。特許調査によっても、アイロボット社が基本特許を押さえている形跡はない。アイロボットのおひぎ元である米国においては、ロボット掃除機の出願数においてアイロボット社は二位で、一位はサムソンである。マサチューセッツ工科大学 (MIT) のロボット研究所の 3 名でベンチャーとしてスタートしたアイロボット社が大手電機メーカーを凌駕し続けた要因は何だったのだろうか。

(2) 2002 年、ルンバ発売に至るまでのアイロボット（ルンバ）の歴史

図 1 はルンバ発売に至る重要事項を筆者がまとめたものである。アイロボット社は、人工知能およびロボットを専門とする MIT のブルックス博士が教え子の大学院生 2 人と設立したロボットベンチャーである。1989 年には MIT のロボット研究所でロボット掃除機のコセプトモデルが作られており、アイデアから製品化までには長い道のりがあった。アイロボット設立からルンバ発売までの 12 年間で特筆すべき点は、革新的なロボット制御システムであるサブサンクションアーキテクチャーの発明および、各種ロボットの製品化開発を通じた、民生用自律型ロボット製品を可能とする技術蓄積の 2 点にあった。

図 1. アイロボット社とルンバ開発までの歴史



サブサンクションアーキテクチャー (SSA) は、1986 年のブルックス博士の論文、” A Robust Layered Control System for a Mobile Robot ” により初めて発表された。従来は、センサーによる稼働環境の情報収集⇒稼働環境のモデル化⇒タスク実現のための実行計画策定⇒計画に沿った行動、からなる集中処理型と呼ばれる方式が主流であった。しかし絶えず変化する稼働環境に対応するため、コンピュータの能力アップとアルゴリズム開発を繰り返すと装置が大型高価格になり、それでも変化に対応できないという実用化の壁にぶち当たっていた。これはフレーム問題と呼ばれる。SSA は、ロボットが実行すべき複雑なタスクを、入力と出力のペアからなる単純なモジュールに分割し、パラレルに制御する分散処理型と呼ぶことのできる方式である。SSA の特長は、複雑な中央処理機能が不要なため、コンピュータ

ハードウェアを単純化することができること、入力と出力が直結しているために稼働環境の変化に対して素早い反応が可能なこと、そして、モジュール構造のためロボットの現場稼働情報からソフトウェアを介して逐次的に改良していく機械学習に向いている点にある。しかし SSA 発表後しばらくは専門家からも、そのような単純なハード構成でフレーム問題を解決できるはずはないという冷ややかな見方が大勢を占めていた。

アイロボット社は SSA の実用化を目指して設立された。初期の逆風から、2002 年のルンバ発売に至る図 1 に示すロボット試作品/製品は以下に示す役割を担った。

- Genghis(1991):SSA のフレーム問題対応を含めた有効性を知らしめるとともに、現場稼働情報からソフトウェアを介して逐次的に改良していくことができることを実証した。
- NEXGEN(1996):SC Johnson 社と協同で開発した業務用掃除ロボット。この開発から、ハードウェア、ソフトウェアに関するロボット掃除機に必要なノウハウを蓄積した。
- Ariel/Fetch(1996/97):水中および地上の地雷を探知し処理するロボット。厳しい環境下でも信頼性高く地雷を探知し処理する機構および、多数の平行モジュールをコントロールする制御システムを開発。地雷をごみに置き換えれば、ロボット掃除機との共通点が多く、ハード/ソフト含めてルンバ開発の母体となった。
- My Real Baby(1990):Hasbro 社と開発し製品化した民生用ロボット人形。それまでは、軍用と業務用ロボットの開発のため、ロボット掃除機を開発する技術は蓄積できたが、民生用として通用するコストに抑える点が大問題であった。最もコストに敏感な市場の一つである、おもちゃ業界のやり方を通じて、安価な標準部品を使うとともに、部品点数の最小化や最安の加工及び組み立てプロセスを学んだ。

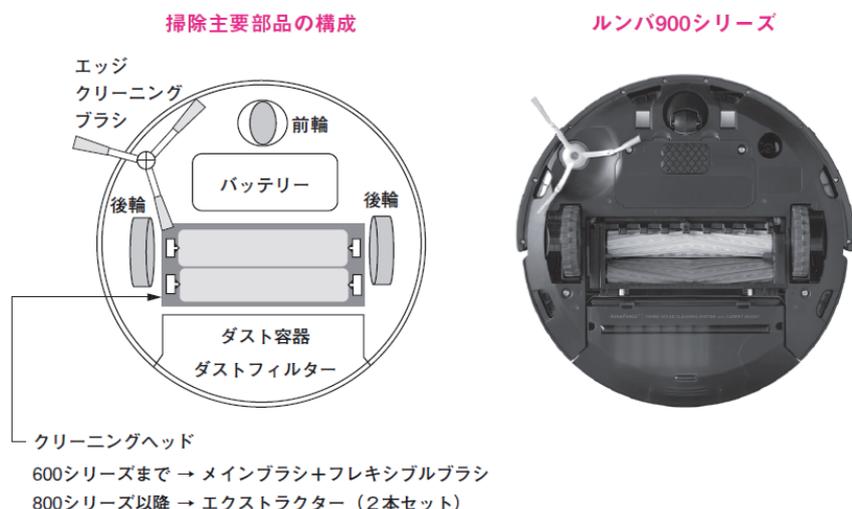
上記開発を通じて、アイロボット社はルンバ開発に必要な技術蓄積を行い、2002 年の発売時までに完成度の高いロボット掃除機ハードウェアを作ることが出来る状態にあったと言える。SSA は現在、行動規範型ロボットとして自律型ロボットの中核技術の一つとなっている。

(3) 発売から現在に至るルンバの改良

2002 年の初代ルンバよりスタートし、2003 年のルンバプロ/ルンバエリート、2004 年のルンバディスカバリー、2005 年のルンバスケジューラー、2007 年の 500 シリーズ、2011 年の 700 シリーズ、2012 年の 600 シリーズ、2012 年の 600 シリーズ、2013 年の 800 シリーズ、2015 年の 900 シリーズと継続的に新製品が出されている。初期の複数の操作手順からワンボタン操作に改良されるとともに、部屋の床の材質やおかれた家具等に対応して、同一製品の中でも、掃除動作が洗練されていっている。これらの改良は主に稼働データをもとにしたソフトウェアの継続的改良で実現されている。

それではルンバのハードウェアはどうなっているのだろうか。上面のデザインは製品ごとに代わっているが、本体サイズと掃除床面と接する下面の基本構成は、発売以来維持されていることが確認できる。その内容を図 2 に示す。『高さ約 8cm、直径約 33cm の円形形状』、『前輪と二つの後輪およびバッテリー

図 2. ルンバのハードウェアの基本構成とその維持



(出所：左図は筆者作成、右写真はアイロボット社 HP より入手)

とダスト容器の構成と配置』、『エッジクリーニングブラシが壁際や角のゴミをかき出し、クリーニングヘッドがゴミを吸いこみ、ダストフィルタにより微細なダストを逃がさないプロセスと主要部品のレイアウト』が初代から最新機に至るまで基本的に継承されている。従来の家電製品でこのように長期間ハードウェアの基本仕様を維持することは考えられなかった。これはハードウェアを中心とした設計思想のためである。ハードウェア中心に他社との差別化をはかるとともに、ハードウェアを定期的買い替えてもらうというビジネスモデルにも起因している。

アイロボットでは少なくともルンバ発売当時は、10人未満の開発チームが一か所に集まりハードソフトウェアを含めた設計と開発を行っていた。また設計とソフトウェアの開発に集中するため、ハードウェアの生産は販売スタート時より外注している。

アイロボットは2002年のルンバ発売以来、競合他社に比べて圧倒的に多量の稼働情報を蓄積している。さらにごみを吸い取るプロセスに関するハードウェアの基本構成を発売以来維持することによって、蓄積した情報をもとにソフトウェアの継続的改良を通じて製品の顧客価値を向上させることが出来ている。シンプルなハード構成およびモジュール構造で逐次的なソフトウェアによる改良を可能にしたSSAの導入とともに、膨大な稼働データを基盤としたソフトウェアの継続的な改良、この二点が、競合が大手電機メーカーであっても中々ルンバに追いつけない重要な理由である。

4. まとめ

(1) ルンバ競争力の源泉

本研究の目的は、人工知能を搭載した民生用自律型ロボットのパイオニアであるアイロボット社のロボット掃除機ルンバの競争力の事例研究を通じて、自律型商品において顧客統合価値を迅速かつ効率的に実現する製品化プロセスへの示唆を得ることにある。その内容は、今までの議論から下記のようにまとめることができる。

- ①製品のハードウェア仕様（少なくとも稼働環境とやり取りしたタスクを達成するための基本仕様）は市場投入時に固定し、現場の稼働データによるソフトウェアを主体とした迅速かつ継続的改良。アイロボットでは、ソフトウェア中心の開発およびソフトウェア軸の継続的改良が実施されている。
- ②製品の逐次的、継続的改良を容易にする、モジュール形式の制御機構。ルンバではシンプルなハード構成およびモジュール構造で逐次的なソフトウェアによる改良を可能にするSSAが導入された。
- ③ロボットやAI、そしてソフトウェアに関しては根本的な技術革新が不可欠であり、サイエンスや基礎研究が重要である。アイロボット社ルンバでは、最先端のロボット工学とコンピュータサイエンスの技術者が協力し製品開発および継続的改良が進められている。

(2) 本研究の課題

アイロボットの事例研究を通じて、自律型商品において顧客統合価値を迅速かつ効率的に実現する製品化プロセスへの示唆は得られた。しかし、まとめに示す内容を具現化するマネジメント手法や製品化プロセスの具体的な体系は見えていない。ルンバのケースではタスクが単純なため、少なくとも発売時は10人未満の開発陣ですべての設計と開発に対応できたこと、Ariel/Fetchといったルンバのタスクに近い製品で十分な情報を得ることができたこと、発売以後、現在までの15年間の成長はルンバにほとんど依存しており、その他の自律型製品にも応用できるようなマネジメント手法や製品化プロセスの制度化が出来ているかは疑問である。

事務機や自動車等の組み込みソフトウェア製品では、ソフトウェアを、ハードウェアの性能や信頼性、安全性に直接かかわる部分と、表示や操作性といった性能や信頼性、安全性に直接影響を与えない部分に分け、前者のソフトウェアはハードウェアと同時の開発、後者のソフトウェアはアプリケーションソフトと同様なアジャイル方式で開発を進める手法が取られている。

自律型商品における、製品の性能や信頼性、安全性に直接影響を与えるソフトウェアまで含めて、迅速かつ継続的な製品改良を実現する方法として以下のような視点が考えられる。手法の体形化のためには、実践の積み重ね、および事例研究等を通じた理論面の検討の両面からの対応が必要となる。

- ・ハードウェア・ソフトウェア組み合わせた実稼働評価シミュレーション技術の開発
- ・製品のモジュール化の徹底