

## INCOSE 標準基盤型情報システム設計提案

嶋津恵子<sup>†</sup>

システムエンジニアリングの世界最高峰の団体 INCOSE が提案するシステム設計手法の採用による構築事例と展開方法の紹介する。またシステムエンジニアリングの理解を深めるために開発した大学院での実習型授業の実施効果を報告する。

### Systems Engineering de facto standard: INCOSE - Experimental Study for applying SE on IS system

Keiko Shimazu<sup>†</sup>

This paper introduces Systems Engineering de facto standard frameworks and models, produced by INCOSE. The other objective of this paper is to present the objectives, the scope, experiments and the results of a course developed and operated in Graduate School of Systems Design and Management (SDM) at Keio University.

#### 1. はじめに

現在の日本は、原子力や地震学・気象学等の工学系の研究だけでなく、社会政策等研究でも、日本には超一流の専門家が育っているにも関わらず、未曾有の国家的危機に直面したまま解決の糸口も見えていない。先の大地震と大津波による被害と事故に対し、キラソーリユーションと言えるものは特定されていない。また昨年は、アラブ首長国連邦向け原子力発電の国際入札で韓国に敗北し、現在進行中の米国鉄道施設計画に対しても日本は旗色が悪いと言われている。これらの現象は、専門分野ごとに行われる最先端技術の研究開発力ではなく、システムエンジニアリング力の欠落が原因しているのではないかと筆者は考える。

システムエンジニアリングは、アポロ計画時に、当時の貧弱な技術力を最大に生かし、月面着陸を達成するために生み出された技術統合技法だと説明されている[1]。この成果をもとに、IEEE や米国国防省、米国航空宇宙局や欧州宇宙標準協会に加え、産

業界からのベストプラクティスを収集・研究し、一般に広く展開できるモデルとフレームワーク、さらにそれらの利用方法を世界に広く展開するのが、INCOSE(The International Council on Systems Engineering)の大きなミッションの一つである。例えば、最近各方面での世界進出が目覚ましい韓国は、10年以上前から INCOSE の成果を自国の産業に取り入れる戦略を採用している。

一方日本では、V モデル等が部分的に、INCOSE のそれとは異なる解釈で展開されているにすぎず、システムエンジニアリングの本質である統合工学を浸透させるに至っていない。このことが、部品製作技術や要素開発技術では世界一流の日本が、世界に誇れるシステムを実現できない理由の一つだと考える。

本稿では、INCOSE の提唱するシステムエンジニアリングの基本を V モデルを中心に解説し、さらに大学院の授業用に開発した実践型カリキュラムについて紹介する。本稿は次の章立てを採る。2 章に先行事例を述べ、3 章に INCOSE の提唱するシステムエンジニアリングの本質を V モデルを中心に述べる。4 章に開発した実践型授業を紹介し、5 章にその成果を示す。6 章で考察を行い、7 章にまとめを記す。

#### 2. 先行事例

システムエンジニアリングの教育に関し、Forsberg らは、(日本でいうところの)文理融合を強調している[2]。大学におけるシステムエンジニアリング教育が効果的・効率的に実施されない大きな理由の一つとして、専門性による独立した大学内の学部や研究科の組織構造とカリキュラム編成を指摘している、特に経営マネジメントに焦点を置く MBA と、工学系を分離させた体制の問題を述べている。このような明確な指摘がある一方で、欧米のシステムエンジニアリングを標榜する大学や大学院でも、システムエンジニアリング実習の授業を持つ学部や研究科への入学、もしくは授業履修の了解対象を、(何らかの)工学系科目の単位を取得した学生に限定している。また必要な工学系単位数も低くないことから、結果的に偏った学生だけが、依然としてシステムエンジニアリングの実習を行っている。

そこで、著者らは、大学院修士課程で実習型の授業を開発するにあたり、世界でも例の無い、理工学部系出身学生と人文学部系出身学生を混在させたチームを作成し、課題解決にあたらせることにした。

#### 3. INCOSE 型システムエンジニアリング標準

システムエンジニアリングに関する標準は、アポロ計画での成功後 1960 年代から IEEE が中心になり進めてきた。IEEE12588(2002)に、業界でのベストプラクティスを反映させたものが INCOSE の提示するシステムエンジニアリングの標準である。

世界標準のシステムエンジニアリングは、日本で認識されているそれとは異なり、

ソフトウェアだけでなく、すべてのシステム構築を対象とした工学的アプローチを指している。また、利用され発展してきた領域が、航空宇宙などであるため、大規模システムにのみ適用されると思われるが、規模が小さくも問題の本質や環境が複雑な構造である場合、システムエンジニアリングの知識体系の利用は、存分に効果を発揮する。

システムエンジニアリングには、代表的な2つのモデルが利用される、システムライフサイクルモデル(図1)と、Vモデル(図2)である[3]。前者は、PMBOK(Project Management Body of Knowledge)が示すプロダクトライフサイクルのモデルであり、システムが企画されてから廃棄されるまでに発生する作業のシーケンシャルな流れをモデル化したものである。標準モデルは、ISO12588であり、INCOSEは特定の目的や業種向けに、(特に詳細部分を)発展させたベストプラクティスが雛形として用意している。具体的には、6つのステージから成り、さらにそれぞれはフェーズによって構成される。また6つのステージは、大きく3つのperiodで区切られ、Decision Gateと称されるフェーズ移行承認作業の設定目安として利用される。多くの場合、システムライフサイクル中の、Study PeriodのConceptステージから、Implementation Periodのdevelopmentステージまでの作業を、プロジェクトとして実施することが多い。そして、この時の実現対象により、システムエンジニアリングが利用される。

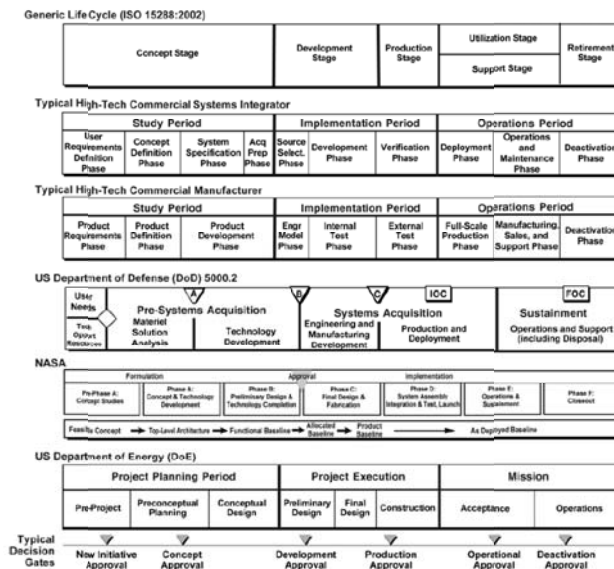


図1 システムライフサイクルモデル [3]

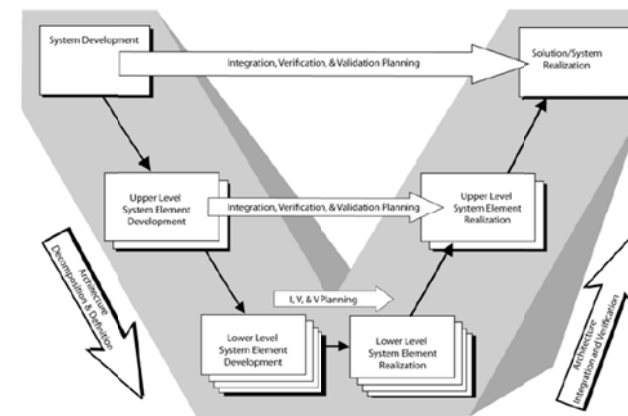


図2 Vモデル [3]

システムエンジニアリングが利用される場合、Vモデルが使われる、このモデルは、システムエンジニアリング作業のプロセスを構成するアクティビティの配置を決定するためのひな型に用いられる。システムエンジニアリングでは、11のテクニカル・プロセス、6つのプロジェクト・マネジメントプロセス、2つのアグリーメント・プロセス、6つのチーム推進プロセス、それに1つのテイラー・プロセスがある[4]。システムライフサイクルにおける作業は、いずれのフェーズでもこれらのプロセスがコンカレントに実施される(図3)。そして、実施計画の初期段階で、具体的に、どのプロセスのどの作業(アクティビティ)が、別のどのプロセスのどの作業(アクティビティ)と同時に実施されるかを決定する。

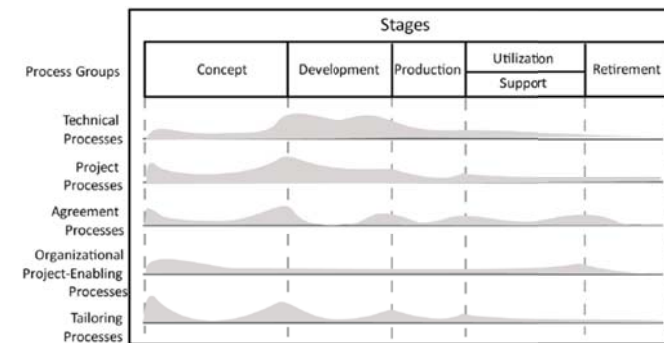


図3 各プロセスがコンカレントに実施されている様子 [3]

日本国内では、ウォータホールモデルとスパイラルアップモデル、それにこのVモデルが並列で論じられることがあるが、世界標準のVモデルは前の2つのモデルの概念を包含している。

開発した授業では、このINCOSEが示す標準に準拠し、複数の作業を同時並行で進める方法で、実施している。

## 4. 開発した Hands-on 型授業

### 4.1 授業期間と授業時間

開発した授業は、春秋それぞれの学期で、開催する。継続版ではなく、それぞれ同じ内容を実施する。システムエンジニアリングは実学であり、経験回数が増すごとに実体験が増え、知識が深まる。そこで、学生にも、シラバスが同一であっても、この授業を修士の2年の間に複数回履修することを推奨している。

授業は、毎週1回。1スロット90分の授業を2スロット続けて開催する。3時間用意することで、可能な限り宿題を作らないことを狙った。これは、文理融合のチーム編成であるため、宿題をだすと実装力のある工学部系の学生に作業が偏ってしまうことを懸念したためである。

### 4.2 授業実施体制と実習概要

授業は次の体制を採る。

#### (1) 教員

3名、うち1名が授業進行と講義を担当、残り2名は疑似スポンサー企業役員(4.3参照)を担う。

#### (2) 社会人学生

1名、Webシステムの開発をビジネスにしている社会人学生が上記企業の交渉担当(部長職)を担う。

テーチングアシスタント:

修士2年生2名 以前の学期でこの授業を履修し高成績を収めた学生。授業進行の補助を担う。

#### (3) 履修学生

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科の修士課程及び博士課程のいずれかの学年に在籍する学生。1チームを4名~6名で構成し、必ずどのチームにも人文系専攻の学生と理工系専攻の学生を混在させる。

#### (4) 実習概要

自動掃除ロボットの代表であるiRobotをCOTSとし、海外出張先から自宅の掃除機がけが可能なシステムを実現する。これは、上記疑似スポンサー会社が、量産販売する新商品であり、プロトタイプに位置づけられる。

#### (5) 教科書

Visualizing Project Management [5]を主教科書とし、INCOSE systems engineering handbook[6]を参考書に、そしてPMBOK guide[7]を必要に応じて参照する方法で、授業を進める。

### 4.3 シラバス概要

開発した授業では、ISO15288が示す標準のシステムライフサイクルのConcept StageとDevelopment Stageをプロジェクト期間とする[4]。またForsbergらの提案に従い、Study PeriodつまりConcept Stageは、User Requirement Definition Phase、Concept Definition、System Specification、Acquisition Preparationの4つのフェーズで構成され、Implementation PeriodつまりDevelopment Stageは、Source Selection、Development、Verificationの3つのフェーズで構成されるとした。授業は次のように、このプロジェクトライフサイクルのフェーズの順に従って実施する。

#### 第1回目授業：オリエンテーション

授業シラバスの解説とシステムエンジニアリングの概要説明。システムエンジニアリング用語別にどの程度習得しているかを、第三者に説明できるかどうかを基準に5段階で自己評価(5章参照)。テーマである自動掃除ロボットを遠隔から操作する方法に関し、実現方法の提案を記述し提出。また卒業学部の専攻を記録し提出。

#### 第2回目授業：要求開発の重要性理解

システムエンジニアリングは、本質的にステークホルダのRequirementを満足することであることを説明し、あいまいな要求を具体化(工学的・定量的表現化)する演習を実施。この回から編成されたチームごとにすべての作業を行う。プロジェクト進行上のdecision gateの役割と本授業における実施方法を説明。

#### 第3回目授業：User Requirement Definition フェーズ

各チームは、疑似スポンサー企業から初期要求として同一の「システム構想案」を受け取る。チーム内メンバーのスキルの棚卸しと、概算予算情報の入手を行う。初期要求書中の文章を清廉化する。さらに実現手法に関するものと、システムの導入によって実現したい状態変化に関するものに分ける。

#### 第4回目授業：User Requirement Definition フェーズ

ステークホルダを洗い出し、それぞれの視点に立って最重要と判断できる要求を特定する。ドキュメントの基本構成を学んだ後、要求全体の矛盾や不整合点をみつけ、スポンサーとともに要求文書を更新する。

#### 第5回目授業：User Requirement Definition フェーズ

CONOPS(Concept of Operations)を作成し、候補となるシステム実現案を複数用意する。基本合意のためのdecision gateを実施する。

#### 第6回目授業：Concept Definition フェーズ

実現方法Conceptの絞りこみを行う。それによって実現できる機能利点と必要(部品

購入用)経費のバランスがとれるよう調整を開始する。

第7回目授業：System Specification フェーズ

実現方法 Concept を選定し、システムアーキテクチャを作成する。モデルやシミュレーションを用いて、フィージビリティを確認する。

第8回目授業：System Specification フェーズ

各コンポーネントとインターフェースの詳細の実現方法を選定する。必要(部品購入)経費のバランスを取り、CONOPS とともに decision gate でスポンサー企業との合意を取る。

第9回目授業：Acquisition Planning フェーズ

いつ、だれが、何を、集め/作成す/組み立てるかを特定し、実施可能なスケジュールを作成する。この際、特に verification と validation の仕様(実施方法)に重点を置き、decision gate でスポンサー企業と合意を取る。

第10回目授業：Source Selection フェーズ

必要部品をどこから購入するかを最終特定し発注を行う。購入に必要な経費を最終決定する。入手できた部品から統合作業を開始する。

第11～13回目授業：Development フェーズおよび Verification フェーズ

実施計画に従ってシステム統合作業と verification を実施する。

第14回目授業：最終 decision gate 準備

Validation を行い、各ドキュメントの最終編集を行う。

第15回目授業：最終 decision gate (Production Approval)

スポンサー企業に対するプレゼンテーションとデモンストレーションを行い、またスポンサー企業に試用してもらい、最終受け取りの合意を入手する。

## 5. 実施結果

### 5.1 開発システムの例

各季の履修生チームの中で、特徴的なアウトプットを作成した例を示す。

(1) 2009 年秋学期

メンバー：

デルフト工科大学からのオランダ人留学生，フランス人修士学生，韓国系アメリカ人修士学生，台湾系アメリカ人修士学生，日本人修士学生の計5名。専攻は順に，マネジメント，機械工学，マネジメント，金融工学，物理学。

システムコンセプト：

利用者が情報技術や仕組みに精通していなくて日常的にサービスを受けられることを目指し，Web サービス型システムを WiFi 基盤で実現。Web カメラの操作もサーバサイドで行う。

(2) 2010 年春学期

メンバー：

日本大学工学部大学院航空宇宙工学科学学生他，他大学工学部宇宙工学専攻学生4名による聴講生チーム

システムコンセプト：

可能な限りメンバーのスキルを生かすべく，ハードウェア中心のシステムを考案。携帯電話で海外から，国内の自動掃除機操作用の携帯電話にかけると，掃除機のリモートコントローラ上に設置された箱型の装置が起動する。携帯電話上で操作した番号の違いによるプッシュボタン音により，個別の棒が落下。リモートコントロールのボタンを操作する仕組み。

(3) 2010 年秋学期

メンバー：

デルフト工科大からの中国人留学生，日系アメリカ人修士学生，韓国系アメリカ人修士学生の3名。専攻は順に，電子工学，マネジメント，社会政策。

システムコンセプト：

Internet 経由でリモートにある PC や PDA から，室内の PC をアクセスする。室内 PC が，掃除ロボットに bluetooth で指示を出す。メンバーの国際色の豊かさを背景に，世界4か国からの validation を実現。

(4) 2011 年春学期

メンバー：日本人修士学生4名。専攻は，商学部，理工学部航空宇宙工学情報数理，工学部電気工学科，法学部法律学科。また3名は，社会人学生。

システムコンセプト：

掃除ロボットと外部にいる利用者が，Twitter でやり取りをすることで，制御を実現。Twitter を介しやり取りするのは，室内に設置された PC と外部から操作するための PC もしくは PDA。室内 PC が Twitter で受けた指示を，bleutooth で掃除ロボットに送付。特に時差のある海外の出張先からの操作を想定し，Web カメラでは(昼夜逆転で暗く)掃除ロボットの動きを確認できないことに注目。Twitter からの掃除記録を追うことで，ゲーム感覚で操作できることが特徴。

### 5.2 システムエンジニアリングの理解度の観察

開発した授業では，初回の授業と最終回の授業で，重要用語の理解度に関する調査を行っている。システムエンジニアリングの重要用語であり，また著者らが所属する大学院で，その重要性ゆえ別途授業カリキュラムとして用意しているものを選択した。これらに関し，自身の理解度評価として，用語を知っているレベルから第三者に説明可能なレベルまでを5段階で特定させた。同一の調査を，初回の授業と最終回の授業でそれぞれ実施している。これまでの結果をレーダチャートに示したのが図4である。

いずれの期も，初回の授業時より最終回の授業時の重要用語の理解度が上昇している。

また、春学期と秋学期で初回の授業時の自己評価が異なり、秋学期の方が高い。2010年春学期は、WBSとスケジュールに関する最終授業時の理解が、他の期と比較し上昇していない。

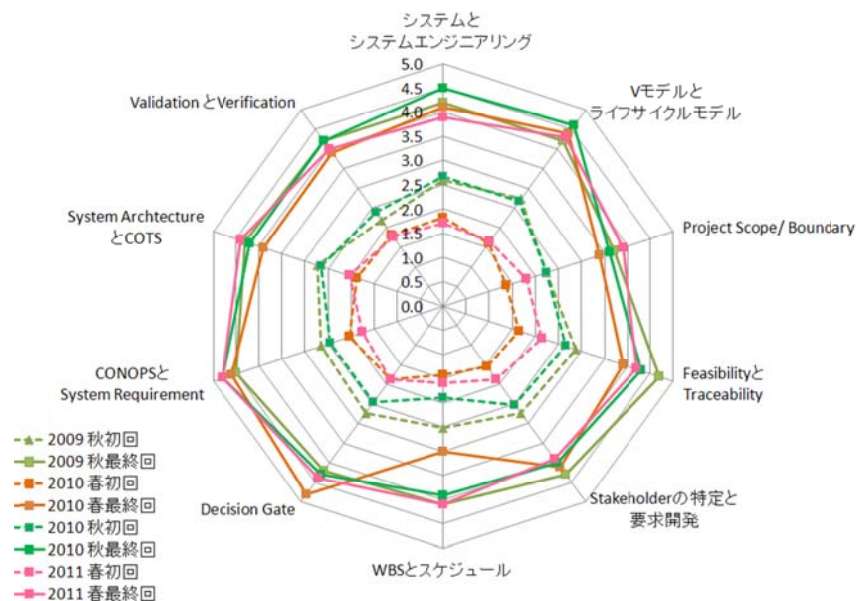


図4 Hands-on型授業履修によるSE重要用語別自己評価結果

## 6. 考察

いずれの期も、実習の授業を通して INCOSE 標準型のシステムエンジニアリングに関する知識を深めることに成功したと言える。初回の授業の調査時に、春学期と秋学期で自己評価知識に差が発生しているのは、秋学期に履修する学生の多くが、留学生もしくは欧米の大学の卒業生であることが理由だと考えられる。欧米では(アジアでもシンガポールを中心に)、INCOSE型のシステムエンジニアリング教育が進んでおり、すでに基本的な学習を終えていることが、この評価の差に表れていると推測される。2010年の春学期に関し、WBSとスケジュールの評価が、他の期より低い評価になっているのは、この項目に十分な時間が充たできなかったことが原因だと考えられる。開発した Hands-on 型の授業は、できる限り宿題を出さず事業時間内で作業を実施することを目指している(4.1節)。このため、学生の理解度や作業の進捗状況によって、教

員は、授業の冒頭に行う解説の量や難易度を調整する。当該の期は、要求に関する理解を深めたいという学生の要望があり、これに時間を多くとった。そして、WBSとスケジュールに関し、時間を他の期より少なくした。これが、最終理解度の差に表れたと考えられる。

## 7. まとめ

今回、システムエンジニアリングの世界標準を制定する INCOSE が提案するモデルとフレームワークを紹介し、日本国内に展開する必要性を主張した。またこのフレームワークに沿って、システムエンジニアリングの理解を深めるために大学院教育として開発した Hands-on 型の授業を紹介した。授業初回時と最終時に、システムエンジニアリングの重要用語の理解度を確認したところ、いずれの期も向上していることがわかった。今後は、履修生個人の状態変化を観察し、さらに効率的・効果的な授業に成長させるとともに、企業人向けの講座開発も計画する予定である。

**謝辞** 本研究の一部は文部科学省グローバル COE プログラム「環境共生・安全システムデザインの先導拠点」に依るものであることを記し、謝意を表す。

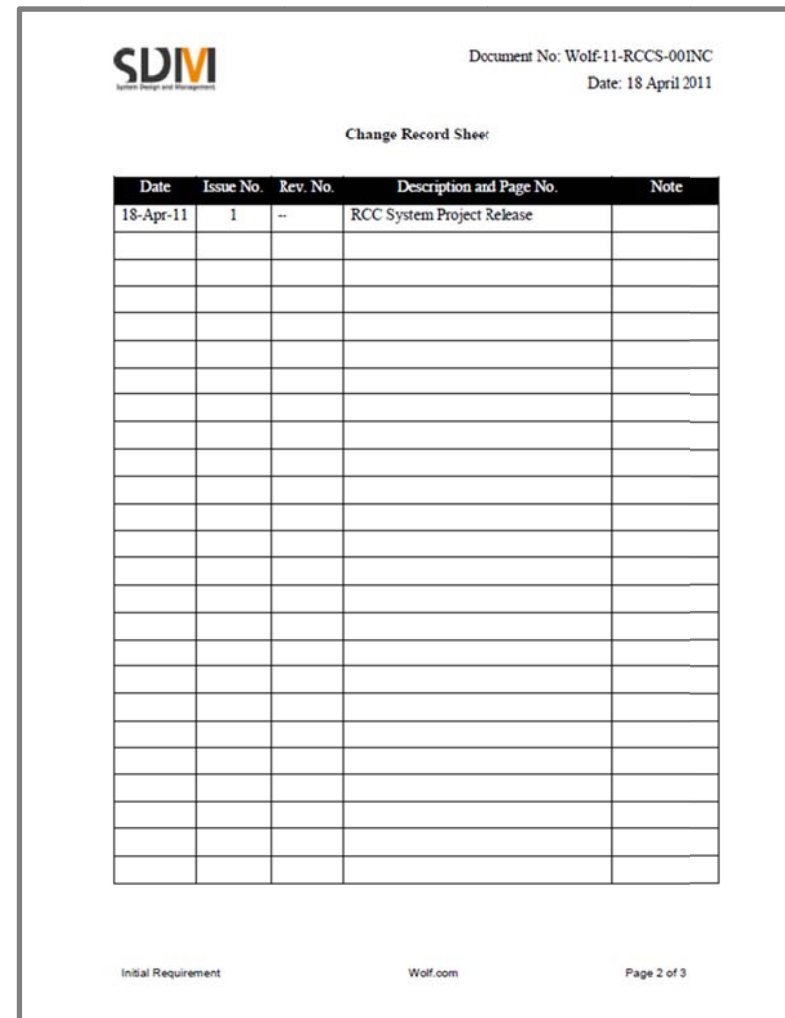
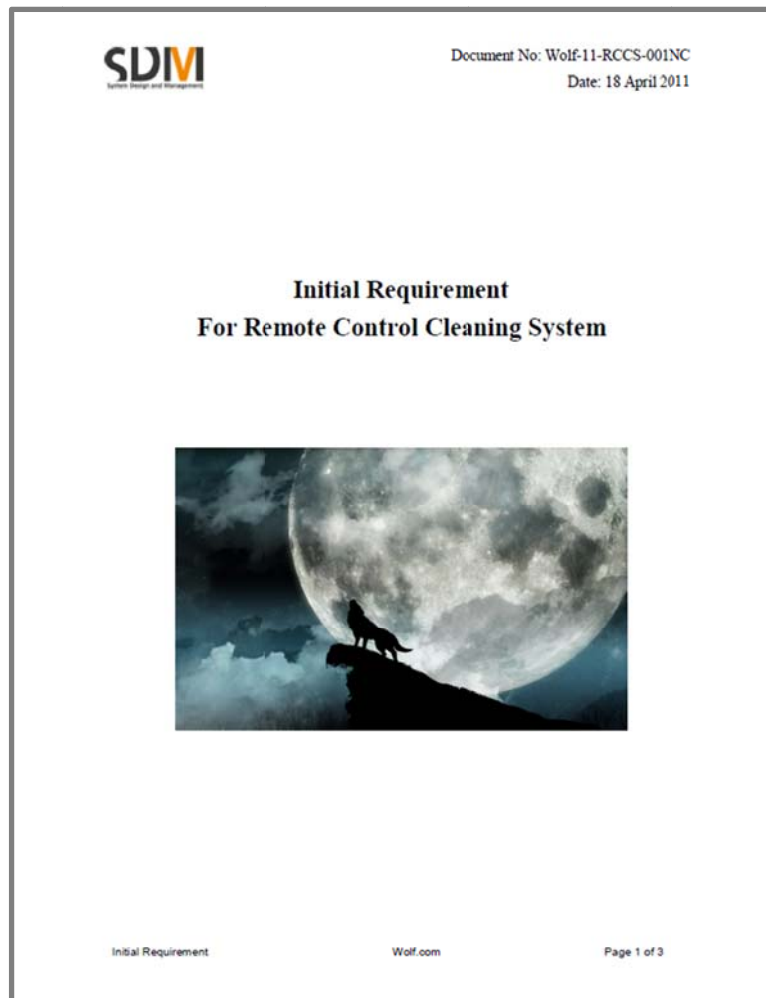
## 参考文献

- 1) Forsberg, K, Mooz, H. and Cottenerman, H: Visualizing Project Management: Charts and Frameworks for Mastering Complex systems, Wiley, 3rd edition, pp.xxi-xxvi (2005)
- 2) Forsberg, K, Mooz, H. and Cottenerman, H: Visualizing Project Management: Charts and Frameworks for Mastering Complex systems, Wiley, 3rd edition, pp.16-17 (2005)
- 3) Haskins, C, Forsberg, K, Krueger, M, Walden, D and Hamelin, R: SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK, A GUIDE FOR SYSTEM LIFE CYCLE PROCESSES AND ACTIVITIES, INCOSE-TP-2003-002-03.2.1, pp.26-27 (2011)
- 4) Haskins, C, Forsberg, K, Krueger, M, Walden, D and Hamelin, R: SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK, A GUIDE FOR SYSTEM LIFE CYCLE PROCESSES AND ACTIVITIES, INCOSE-TP-2003-002-03.2.1, pp.v-vi (2011)
- 5) Forsberg, K, Mooz, H. and Cottenerman, H: Visualizing Project Management: Charts and Frameworks for Mastering Complex systems, Wiley, 3rd edition (2005)
- 6) Haskins, C, Forsberg, K, Krueger, M, Walden, D and Hamelin, R: SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK, A GUIDE FOR SYSTEM LIFE CYCLE PROCESSES AND ACTIVITIES, INCOSE-TP-2003-002-03.2.1 (2011)
- 7) Project Management Institute: A Guide to the Project Management Body of Knowledge: Official Japanese Translation(プロジェクトマネジメント 知識体系ガイド PMBOK ガイド) 第4版 (2008)



## 付録

開発した授業用に作成した初期要求書





Document No: Wolf-11-RCCS-001NC

Date: 18 April 2011

**Overview** The purpose of this document is to identify the user requirements on the Remote Control Cleaning System (RCC System). The contractor may, at his/her responsibility, deviate in his/her proposal from the specification requirements but shall state clearly the deviations together with his/her justification and shall submit the related modification for the Wolf.com approval. (contact: kohtake@sdm.keio.ac.jp)

**1. Scope.**

The RCC System shall provide users the remote control function to clean the users' home and the remote monitoring function to watch an autonomous home cleaning by robot. With the RCC System, users can clean their homes anywhere and anytime via internet, and do not have to clean the homes on their holidays. The operational cost for using this service will be very cheap (Internet and electricity charges).

**2. User(s).**

1. Busy people who have long overseas business trips every month.
2. Wealthy people who have many houses and want to clean them everyday.
3. Companies who provide cleaning services

**3. Current Capability.**

1. Users clean their living rooms by themselves after their business trips.
2. Users ask cleaning companies (e.g. Duskin Co. Ltd.) to clean their living rooms before their return.

**4. Deficiencies.**

1. Quickness  
Users who are tidy want to clean their home anywhere and anytime.
2. Good Quality  
Users who use cleaning service are sometimes disappointed quality of the cleaning service after their business trips.
3. Security  
Users who use cleaning service must allow cleaners enter their houses.
4. Enjoyment  
Users who do not like cleaning can not enjoy current cleaning system/service.

**5. Improvements.**

1. Quickness
2. Quality
3. Security
4. Enjoyment

**6. Techniques Used.**

1. Autonomous robotic vacuum cleaner (Roomba 577)
2. Personal computers and mobile phones
3. Remote control
4. Internet

**7. Notes.**

1. Friendly user interface and user manual (in English and Japanese) are necessary because elder and young people use this system

**8. Applicable Documents.**

1. iRobot Roomba 577 User's Manual