

組込みソフトウェア技術者に対する教育と評価

山本 雅基

目次

| | | |
|-------|---------------------------------------|----|
| 第 1 章 | 序論 | 1 |
| 1.1 | 教育評価研究の概観 | 1 |
| 1.2 | 本論文の目的 | 9 |
| 1.3 | 組込みソフトウェア技術者教育の概観 | 9 |
| 1.4 | 本論文の概要と構成 | 13 |
| 第 2 章 | 組込みソフトウェア技術者教育の構築 | 14 |
| 2.1 | 目的 | 14 |
| 2.2 | ESTEC の開発 | 15 |
| 2.2.1 | 教育コース体系 | 15 |
| 2.2.2 | 技能教育 | 21 |
| 2.3 | 調査 2-1 (ESTEC の評価) | 25 |
| 2.3.1 | 方法 | 25 |
| 2.3.2 | 調査 2-1 の結果と考察 | 27 |
| 2.4 | 実験 2-2 (プログラム演習の評価) | 32 |
| 2.4.1 | 方法 | 32 |
| 2.4.2 | 実験 2-2 の結果と考察 | 34 |
| 2.5 | 第 2 章の結論 | 37 |
| 第 3 章 | 受講者と上司による教育評価実験 | 39 |
| 3.1 | 目的 | 39 |
| 3.2 | 実験 3-1 (予備実験) | 40 |
| 3.2.1 | 方法 | 41 |
| 3.2.2 | 実験 3-1 の結果と考察 | 42 |
| 3.3 | 調査 3-2 (評価項目の抽出) | 49 |
| 3.3.1 | 方法 | 49 |
| 3.3.2 | 調査 3-2 の結果と考察 | 49 |
| 3.4 | 調査 3-3 (評価項目の重要度) | 50 |
| 3.4.1 | 方法 | 50 |
| 3.4.2 | 調査 3-3 の結果と考察 | 52 |
| 3.5 | 実験 3-4-1 (教育受講期間における受講者と上司の評定) | 53 |
| 3.5.1 | 方法 | 53 |
| 3.5.2 | 実験 3-4-1 の結果と考察 | 53 |
| 3.6 | 実験 3-4-2 (受講しない期間における受講者と上司の評定) | 58 |
| 3.6.1 | 方法 | 58 |
| 3.6.2 | 実験 3-4-1 の結果と考察 | 58 |
| 3.7 | 第 3 章の結論 | 60 |
| 第 4 章 | 総合考察 | 63 |
| 4.1 | 技術者教育の開発の総合考察 | 63 |

| | |
|------------------------------|----|
| 4.1.1 カリキュラム開発 | 63 |
| 4.1.2 カリキュラム評価 | 64 |
| 4.2 受講者と上司による教育評価の総合考察 | 67 |
| 4.3 受講者と上司の評価モデル | 70 |
| 4.4 本論文の結論 | 75 |
| 本論文の要約 | 77 |
| 引用文献 | 81 |
| 関連論文 | 86 |
| 付録 | 88 |
| 謝辞 | 94 |

第 1 章 序論

1.1 教育評価研究の概観

学習科学

学習科学 (learning science) は、認知心理学や脳科学の知見を基礎として学習のあり方を研究する学問であり、その研究成果を教育実践につなげるための取り組みが、研究者と教師により行われている (Bransford, Brown, & Cocking, 2000; 三宅, 2004)。研究者による理論研究と教師による教育実践が、連携して学習科学を発展させることは、次の 2 点で指摘される。第 1 は教師と研究者とが研究計画の段階から協同作業を行うことであり、第 2 は研究に関心を持つ教師が研究で得られた知見を自らの教育実践に取り入れることである。後者において、理論研究で得られた知見は、「教材」、「教員養成・教職研修」、「教育政策」、そして「社会とメディア」の 4 領域を通して教育実践の場で広まるとされる。図 1-1 は、理論研究が教育実践に影響を及ぼす道筋を示す。

研究に関心を持つ教師は、教育実践の場において行われる教育活動に対して、教育評価 (educational evaluation) を実施し研究者に報告する。研究者は、その結果に基づいて理論研究をさらに進める。このように、教育評価は、学習研究において理論研究と教育実践を結び付ける活動として、重要である。そこで、本論文では、まず教育評価の研究動向について概説する。

教育評価の分類

義務教育期間における従来の教育評価では、学習を開始するのに必要な条件を受講者が満たしているかの把握と、教育を修了した受講者に対する教育成果の確認が、中心に行われてきた。しかし現在では、教育の評価には、教育活動と直接的あるいは間接的に関連する事項の実態把握と価値判断のすべてが含まれる (撫尾, 1993)。たとえば、梶田 (1992) は、教育評価をその目的によって、事前的評価、形成的評価、総括的評価、そして外在的評価の 4 種類に分類した。図 1-2 は、4 種

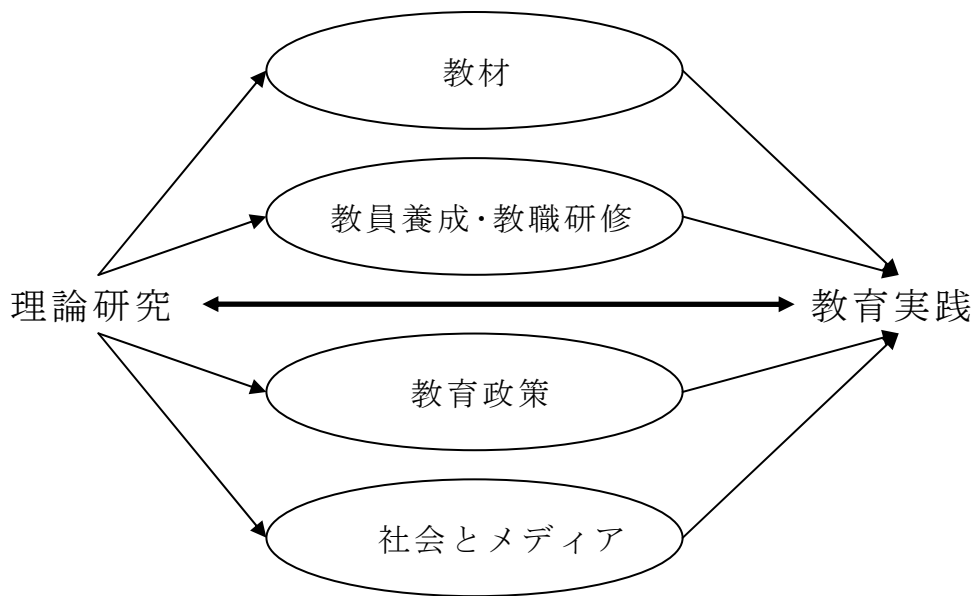


図 1-1 理論研究が教育実践に影響を及ぼす道筋 (Bransford, et al. (2000)から抜粋).

類の評価と教育活動の関係を示す。

第1の事前的評価は、教育活動の開始以前に、受講者の受け入れ・配置と、教授活動に必要な情報収集と、総括的評価の準備のために実施される。受け入れ・配置は、受講前に行われる試験の結果などを用いて、定められた教育計画に対する適格性に従って受講者を選択するために実施され、情報収集は、受講者の既習事項などを事前に把握し、教師が教授活動の参考にするために行われる。さらに、受講者が有する知識や経験の水準を受講前に調べるプレテストが、総括的評価の準備として行われる。

第2の形成的評価は、教育活動の途上において、教授内容や指導方法の変更を行うために実施される。教師は、受講者の理解状況を教育活動の途中で実施する小テストなどを通じて把握し、効果的な教育を実現するように、適切に教授内容や指導方法の変更を行う。

第3の総括的評価は、一連の教育活動が終了した時点で、教育活動の成果を把握・評価し、認定するために実施される。成果の把握・評価は、ポストテストとして教育終了後に行われる試験結果と、プレテストとして事前的評価において行われた試験結果を比較して、教授活動の成果を確認するために行われる。他方、認

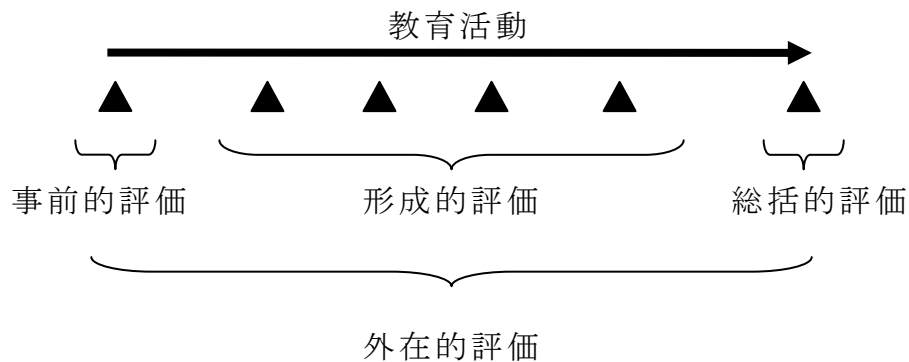


図 1-2 教育活動と教育評価の関係．最初に事前的評価が行われ，教育活動中に形成的評価が，最後に総括的評価が行われる．外在的評価は，教育活動の全体に対して行われる（用語は梶田（1992）から引用）．

定は，単位の認定など一定の知識や技能の所有者であることを，教師などが認めるために行われる．

第4の外在的評価は，教育活動に対して改善を加えるために実施される．カリキュラム開発者と教師は，事前的評価，形成的評価，そして総括的評価を含めた教育の実態把握を通じて，教育カリキュラムや指導方法などの問題点を抽出し，教育活動の改善を行う．

教育評価研究の流れ

4種類の教育評価に対する研究は，歴史的な発展の経緯を持つ．すなわち，最初に事前的評価と総括的評価に対する研究が行われ，その後，形成的評価と外在的評価に対する研究が，順次，実施されてきた．ここでは，歴史的な経緯に照らして，各評価研究を概説する．

受講者の選考を行う事前的評価と，認定を行う総括的評価は，教育評価の原点として教育活動と共に実施される．これらの評価で行われる伝統的試験法である口頭試問には，採点者の主観が介入することに対する批判が提出された．そこで，評価の客観性を高めるために，教育的事象に対する測定手法を整備し標準学力テ

ストが作成された (Thorndike, 1918; Linn, 1989; 梶田, 1992; 野嶋, 2000). しかし, 標準学力テストに対しては, 記憶に対する評価を偏重し教育目標の一部を評価するに過ぎないと指摘する批判が提出されたために, Tyler (1931) は評価目標を明確な外的行動として表現し評価する手法を提案した.

その後, 技能や判断力を含めた総合的な教育目標の分類体系 (taxonomy) の提案が行われ, Bloom (1956) は, 知識の記憶以外の教育目標を体系付けた. 総合的な教育目標の分類体系は, 認知と情意と精神運動の 3 領域から構成され, 各領域において目標類型はそれぞれ達成と向上と体験の 3 種類に分けられる. 分類体系を用いた教育評価は, 各領域の目標類型ごとに具体的な行動目標を定め, 受講者の行動を観察して行う.

他方, 教育活動の途上で行われる形成的評価は, 古くから受講者の態度や演習の進捗確認などの方法により実施されてきた. その後に, 教育目標の分類体系の普及に伴い単元における学習目標が明確になるに従って, 単元毎の到達度を計測するテストが行われることになった (Bloom, 1971). 梶田 (1992) は, 形成的評価の結果を教育活動へフィードバックする類型を, 再学習型, 補充学習型, 学習調整型, そして学習分岐型の 4 種類で構成した.

第 1 の再学習型では, 形成的評価の結果として課題の達成が不十分であることが判明したときに, 受講者に対して同一の課題を再度学習させる. 第 2 の補充学習型では, 不十分な達成の状況を詳細に診断し, 補充的な学習を行う. 第 3 の学習調整型では, 受講者の理解状況を把握しながら, 学習活動の展開を調整する. 第 4 の学習分岐型では, 受講者を理解状況に応じて複数の群に分け, それぞれに異なった学習課題を与える.

形成的評価では, 教育の対象により様々な計測指標が用いられる. たとえば, コンピュータのプログラミング演習に対する計測指標は, 操作コマンドの記録や発話記録などが行われる. 計測結果は, 教師による教育活動への直接的なフィードバックだけではなく, 学習過程の解明や学習者の知識像の分析や CAI (computer aided instruction) への応用研究に適用される (中村・赤松・桑原・玉城, 2002; 三輪・杉江, 1992; 櫻井・三輪・岡田・岩田・松本・池田, 1996; 櫻井・三輪・岡田・熊谷, 1996).

最後に, 外在的評価は, 教育カリキュラムや指導方法など教育活動の全てに対

する改善を目的として実施される。たとえば、学習者の適性によって学習成績に対する教育効果の現れ方が異なることから、受講者の適性に基づいた教育的処遇の最適化が指導知識として教員に提供されている (Cronbach & Snow, 1977)。近年では、企業における職業人向けの教育において、経営の面から教育効果を評価し、教育活動の改善を行う取り組みが行われている (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006)。

職業人教育の評価

Kirkpatrick and Kirkpatrick (2006) は、職業人に対する教育評価を、教育現場から教育終了後の職場にわたる時間軸に基づいた 4 水準 (reaction, learning, behavior, result) に分けて行うことを提案している。

「反応 (reaction) 水準」の評価は、教育期間中に実施される。この水準では、教育の実施側が、研修に参加した受講者の反応を、主に受講者に対する質問票を用い評価する。質問項目では、研修に対する受講者の好感度や期待の一致度などが問われる。

「学習 (learning) 水準」の評価は、教育終了時に実施される。この水準では、教育の実施側が、受講者に対する修了試験などの実施結果に基づいて、教育コースの育成目的である技能や知識が獲得されたか否かを評価する。評価には、理解度テストや実技演習など、教育目標に適した方法が採用される。評価では、習得度の許容限界を定めておき、許容限界以下の評定値が得られたならば、再教育の実施や教育カリキュラムの再構築などが必要である。

「行動 (behavior) 水準」の評価は、教育終了後に実施される。この水準では、受講者の所属する会社の人事部門が、研修で受講者の獲得した技能や知識が業務遂行に変化をもたらした程度を、主に受講者と直属の上司に対する質問票によって評価する。質問項目では、受講後に業務遂行上の行動や仕事の成果にどのような変化があったかが問われる。

「結果 (result) 水準」における評価も、教育終了後に実施される。この水準では、受講者の所属する会社の経営部門が、受講者が業務の遂行を通じて、所属する会社の売り上げの増加にいかに関与したかを評価する。しかし、受講者の生産活動への寄与度は、不定形の開発業務などにおいては計測が困難であると指摘されている。また、売り上げは景気変動の影響を受けるために、売上高のみを用い

表 1-1 Kirkpatrick が定義する水準と教育評価の分類との関係一覧.

| Kirkpatrick の水準 \ 教育評価の分類 | 事前 評価 | 形成的 評価 | 総括的 評価 | 外在的 評価 |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|
| 反応 (reaction) 水準 教育期間中における受講者の反応を評価する | | ○ | | ○ |
| 学習 (learning) 水準 習得した知識を教育終了直後に評価する | | | ○ | ○ |
| 行動 (behavior) 水準 企業の現場における行動の変容度を評価する | | | ○ | ○ |
| 結果 (result) 水準 教育の費用対効果に関して評価する | | | ○ | ○ |

た教育効果の計測は不適切である。この弊害を回避するために、企業の戦略とビジョンを4種類の視点（財務、顧客、業務プロセス、学習と成長）で分類し、非財務的な指標を加えて企業活動を評価するバランス・スコアカード（Balanced Scorecard）を用いた評価が検討されている（Kaplan & Norton, 1996; Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006）。

反応水準における評価は、教育期間中に教師の教授方法の修正を目的として行われ、梶田（1992）の分類では形成的評価に対応付けられる。他方、学習水準、行動水準、そして結果水準における評価は、一連の教育活動が終了した時点でその成果把握を目的として行われ、総括的評価に対応付けられる。さらに、これら4種類の水準における評価は、全て、教育活動の改善を目的とするために、外在的評価にも対応付けられる。表 1-1は、各水準と梶田（1992）による教育評価の分類との関係を示す。

職業人教育の教育効果に対する評価は、評価水準と評価主体の2点において学校教育とは異なる。すなわち、行動水準と結果水準における評価は、学校教育ではほとんど行われないが、職業人教育では受講者が教育を終了してから企業現場に戻り、業務を遂行した時点で実施される。他方、評価主体における特徴は、職

業人教育の評価主体に、受講者本人と教師だけではなく、受講者の上司が加わることである。Knowles (1975) は自己主導による学習の有効性を指摘していることから、受講者本人は、いかなる教育活動においても自己評価を行うことが求められる。また、教師は、少なくとも受講者の理解状況を把握しながら教育を行うときには必ず受講者の評価を行う。さらに、職業人教育では、上司には部下の育成責任があるために、上司は受講者の教育評価を行うことが求められる。

自己評価と他者評価

評価は、評価主体と評価客体の関係において、自己評価と他者評価から構成される。自己評価は、評価主体と評価客体が同一人物であることを示し、受講者による自分自身に対する評価が該当する。他方、他者評価は、評価主体と評価客体が異なることを示し、職業人教育では受講者の直属の上司や先輩などが受講者に対して行う評価が該当する。本研究では、主観に基づいて行われる自己評価と他者評価を取り扱う。

評価における主観性は、自己評価においては自己に都合が良く、他者評価においては他者に厳しくはたらくことが確認されている。自己評価において、自分を高く評価するように情報や出来事を解釈する傾向は、ポジティブ幻想 (positive illusions) として知られている (Taylor & Brown, 1988)。この傾向は複数の研究により確認されており、Dunning, Meyerowitz and Holzberg (1989) は、自己評価において曖昧で多義的な情報が自分にとって都合の良い方向に解釈されることを報告している。Gilovich (1991) は、学生を用いた調査において、学生が自分自身に対して高い評価をしがちであることを確認している。また、比較文化的観点からの研究も行われており、北山・桜井 (2001) は、日本人では調和性と誠実性においてはポジティブ幻想が、社交性と身体的特徴と経験への開放性については逆の傾向があることを示し、自己評価における社会規範の影響を指摘している。

他方、他者評価においては、評価基準を統一しても、寛容効果 (generosity effect) と光背効果 (halo effect) と偏見 (prejudice) による対人認識の歪みのために、評定値が評価主体により異なることが指摘されている (梶田, 1992; 市川, 1995)。寛容効果は評価主体が評価客体に対して抱く感情によって評定値が異なることであり、光背効果は一部の評価項目の評定を拡大解釈して他の項目を評定することで

あり、偏見は根拠の無い否定的な見方をすることである。

他者評価では良く知られたこれらの歪みだけではなく、Hamilton and Zanna (1971) は、他者に対する評定が好ましくない情報を重視して行われることを報告している。これに対して、Alicke (2000) は、他者を否定的に評定する理由として、自らの自尊心の維持と高揚のためであることを指摘している。これらの研究結果は、他者評価が他者に厳しく行われる傾向を示す。しかし、他者を常に否定的に評価するわけではなく、Trivers (1971) は、他者からの返報が期待される状況では、他者をより高く評価することを確認している。

評価の結果が意欲に影響を及ぼすことは、帰属理論と自己効力感において知られている。帰属理論において、Weiner (1980) は、人は成功と失敗を、能力、努力、課題の困難度、そして運の 4 要因に帰属しやすいことを確認している。成功を自己の能力としての安定的な要因に帰属すると、成功することへの期待が高まり、強い遂行行動により困難な課題への強い好みを示すことが確認されている。他方、自己効力感を提唱した Bandura (1995) は、適切な行動を成し遂げられるという予期や確信が、学業達成場面での動機付けの高さに影響を与えることを報告している。学習行動の自発性については、学習努力に随伴して学業成績が向上すると評価したときに高まることが確認されている (Dweck, 1975; 鎌原・亀谷・樋口, 1983)。

さらに、学習意欲は評価だけではなく重要な他者との対人交流の欲求により高まることが報告されている (Deci & Ryan, 1990)。学校教育において、藤田 (1995) は、教室における評価が教師と子どもの人間関係の中にあって意味を持つものであると指摘している。これらの指摘は、評価客体における重要な他者が評価主体であるときに、評価客体の学習意欲は、評価主体との対人交流と両者の信頼関係を基盤として行われる他者評価により、高まることが示唆する。

1.2 本論文の目的

職業人教育では、企業現場における行動水準の教育評価を、受講者が生産する製品の個数に代表される客観的な評価項目だけではなく、品質に代表される主観的な評価項目において、受講者と上司の双方による評価が求められる。しかし、主観性に関する先行研究では、自己評価と他者評価はその評価特性が異なることが指摘されている。したがって、行動水準における透明性の高い教育評価を行うためには、受講者の自己評価と上司の他者評価の特性を解明することが求められる。

本研究の目的は、職業人に対する教育における透明性の高い行動水準の教育評価手法を構築するために、組込みソフトウェア技術者教育を実践例として用いて、受講者の自己評価と上司の他者評価の特性を検討することである。

本研究では、具体的な教育事例において両者の評価特性を明らかにするために、組込みソフトウェア技術者に対する教育を題材とした。組込みソフトウェア技術者の業務は、ソフトウェアの設計や製作などを行うことであり、彼らの業務に対する評価の多くは主観的に行われる。

すなわち、本研究の内容は、次の 2 種類に大別される。第 1 に、組込みソフトウェア技術者教育カリキュラム (embedded software technical expert curriculum: ESTEC) を構築することであり、第 2 に、ESTEC の受講者と直属の上司から受講に伴う教育効果に関するデータを収集し、受講者の自己評価と上司の他者評価の評価モデルの提案を行うことである。

次節において、職業人の組込みソフトウェア技術者教育を概観する。

1.3 組込みソフトウェア技術者教育の概観

組込みソフトウェア技術者教育の背景

組込みソフトウェアは、家電機器や輸送機器など各種の機器を制御するコンピュータシステムに組み込まれ、機器と一体で製品とみなされるソフトウェアとして

定義される（情報処理学会組込みシステム研究会，2008）．このソフトウェアは機器に搭載された専用コンピュータ上で動作するために，PC（personal computer）との比較においてメモリや動作速度の点において厳しい制約の下で動作が求められ，開発には組込み固有の技術が要求される．

2008 年現在，我が国では，242,000 人の組込みソフトウェア技術者が確認されているが，新製品に組込むソフトウェアを全て要求される時期までに開発するためには，なお 88,000 人の技術者が不足しているとされる（経済産業省商務情報政策局，2008）．

組込みソフトウェア技術者の不足を解消するために，学校では，CS（computer science）と CE（computer engineering）領域の基礎教育が行われており，企業では，職場における仕事を通じた訓練が OJT（on the job training）として行われると共に，インストラクション・ガイド（Dick & Carey, 2001）に従って開発された教材を用いた教育が計画的に実施されている．企業における教育は組織的に行われることが多く，一部の企業グループでは，教育の専門部署によりグループの構成員である各社に対して，教育内容を統一して実施している（原嶋, 2006; 清尾・村田・山口・細井, 2006）．自社で教材を開発し得ない企業に対しては，組込みソフトウェア技術者の育成を目的とした NPO 法人による教材の提供と教育が行われている（西, 2003）．他方，地域における社会人に対しては，企業と大学それに産業誘致を目指す行政が相互に協力して行う教育活動が行われている（伊藤・渡辺・樽松・村上・湯山・宮道他, 2007; 長島・近藤・田中・宮近・秋山・石渕他, 2006; 築添・林田・安浦・平川・伊藤・村上他, 2006）．

企業は，技術者を職種と技術水準に応じて処遇し，人事施策として，社員の経験年数に応じた職種転換と職能伸展を促す教育を行う．すなわち，社会人の組込みソフトウェア技術者に再教育を与える目的は，組込みソフトウェア産業への従事者数を増加させることだけにあるのではなく，技術者を異なる職種に転換させること，同一職種内で彼らの技術水準を向上させることにもある．

表 1-2 キャリア基準において定義されるキャリア一覧.

| 職名 | 職務 |
|------------------|-----------------------|
| プロダクト・マネージャ | 製品開発の全体を管理する |
| プロジェクト・マネージャ | 製品開発の一部を管理する |
| ドメイン・スペシャリスト | 特定分野に特化した技術開発を行う |
| システム・アーキテクト | 構成を設計する |
| システムソフトウェア・エンジニア | システムの一部であるソフトウェアを開発する |
| ブリッジ SE | 外部組織との共同作業を行う |
| 開発環境エンジニア | 開発環境を整備する |
| 開発プロセス改善スペシャリスト | 組織の開発プロセス改善を行う |
| QA スペシャリスト | 製品品質を保証する |
| テスト・エンジニア | 開発した製品のテストを行う |

組込みスキル標準

情報処理推進機構ソフトウェア・エンジニアリング・センター (IPA/SEC¹) は、組込みソフトウェア開発者の人材育成と活用に有用な基準を与えるために、スキル基準と、キャリア基準と、教育研修基準の 3 基準で構成される組込みスキル標準 (ETSS²) を定めている (IPA/SEC, 2007a)。

第 1 にスキル基準には、開発現場で使用するプログラミング技術など合計 78 種類の技術項目が含まれる (IPA/SEC, 2007b)。

第 2 にキャリア基準には、組込みソフトウェア技術者の職種が含まれる (IPA/SEC, 2007c)。表 1-2は、キャリア基準が定める各職種の職名と職務を示す。各職種の技術者は、保有する技能に応じ、3 種類の技能水準（昇順にエントリ、ミドル、ハイ）のいずれかに位置づけられる。エントリ・レベルの技術者は当該職種におけるミドル・レベル以上の技術者による指導の下で業務を行うに留まるが、ミドル・レベルの技術者は自ら課題の発見と解決を行い、ハイ・レベルの技術者は自らの技能を活用し部署や会社を先導する。

第 3 に教育研修基準には、技術者の組込みソフトウェア開発力を強化するため

¹ Information-technology Promotion Agency / Software Engineering Center

² Embedded Technology Skill Standards

の教育カリキュラム構成が含まれる (IPA/SEC, 2007d). この基準では, 受講前と受講後の技術者を, スキル基準とキャリア基準を用いて定義し, 両者のスキルの差異を育成する科目や履修順序を定めることを求めている.

教育評価の必要性

企業において教育予算を確保するためには, 教育に要する経費がどの程度の教育効果をあげているのか, つまり教育の費用対効果に関する明確な説明が必要とされる. 従業員数が 1,000 名以上の大企業の約 50%が, この費用対効果の計測困難性を企業内教育の問題点として指摘している (情報処理推進機構 IT スキル標準センター, 2007).

教育の費用対効果は, 「教育受講に要した費用」と「教育受講により受講者に生じた効果を金額に換算した額」の差分として定義される.

教育受講に要する費用は, 「出張費を含む受講料」に「受講期間中に受講者が勤務した際に期待される売り上げ」を加算して求められ, 計算可能である.

他方, 教育受講により受講者に生じた効果の評価額は, 「受講後の評定期間に受講者が生産する付加価値額」から「受講前の付加価値額」を減算して求められる. 組込みソフトウェア技術者の付加価値額の評価式には, 「労働時間数 × 時間単価」が広く使用されるが (経済産業省商務情報政策局, 2006), 技術者の労働時間と時間単価は教育受講以外の要因 (たとえば, 業務負荷など) により変動するために, 教育効果の計測には適さない. 教育効果を計測するためには, 付加価値額を, 労働時間に比例させるのではなく, 教育受講により高められる労働の質を勘案して求める必要がある. しかし, 組込みソフトウェア技術者は, 職種と開発対象に応じて質的に異なる労働を行うために, それらの質的差違を金額として評価することが容易ではない.

組込みソフトウェア技術者教育では, 反応水準の評価が教育コースの改善を目的として, また学習水準の評価が社内教育の修了判定を目的として, 既に企業研修などの現場において実施されている. 他方, 行動水準と結果水準の評価は, 企業ではほとんど実施されていない (山本・高田・齋藤・間瀬・河口・富山他, 2007).

よって, 教育への投資の適切性を教育効果として客観的に判断し得る計測方法の提案が, 社会的急務とされる.

1.4 本論文の概要と構成

本研究の目的は、職業人に対する技術教育において、透明性の高い教育評価手法を構築するために、受講者の自己評価と上司の他者評価の特性を検討することであった。この目的を達成するために実施された本研究の内容は、次の 2 種類に大別される。第 1 に、ESTEC を構築し、その妥当性を客観的に評価した。第 2 に、構築した ESTEC を用いて職業人を受講者とした教育を実践し、受講に伴って、受講者の自己評価と上司の他者評価がいかに変容するかを検討した。

本論文の構成は以下の通りである。

第 2 章では、まず、ESTEC の開発手順と作成した教育コースの教育内容を説明し、次に ETEC の妥当性を評価するために行った調査と実験について報告した。調査 2-1 は全カリキュラムの総合的な教育評価を求めるために行い、実験 2-2 はプログラミング演習をとりあげて評価した。

第 3 章では、受講者の自己評価と上司の他者評価の特性を求めるために行われた調査と実験について報告した。受講者の自己評価と上司の他者評価における差異を確認するために行われた予備実験（実験 3-1）を実施した結果、受講者と上司で、受講後に評価値の高くなる時期がずれる傾向が認められた。そこで、両者のズレが生じる評価項目と時期の関係を明らかにするために、4 種類の調査と実験を実施した。まず、業務遂行能力の評価項目を求める調査 3-2 を実施し、12 種類の評価項目を抽出した。次に、受講者と上司が同一の基準で評価を行っているか否かの調査 3-3 を実施した。そして、受講者と上司に受講者を評価させる実験 3-4-1 を教育期間内に実施し、その後に、業務遂行による自動的な能力伸展の影響を確認するために、教育を受講しない期間に受講者の評価実験 3-4-2 を実施した。

第 4 章では、本研究で実施した 7 種類の調査と実験の結果を総括し、さらに、本研究の適用範囲を組込みソフトウェアに限定されない他の職業人教育一般へ敷衍することを目指し、受講者の自己評価と上司の他者評価の評価モデルを論じた。

第 2 章

組込みソフトウェア技術者教育の構築

2.1 目的

経済産業省商務情報政策局（2008）は、組込みソフトウェア技術者が不足しているために、職種転換と技術力の向上を目的とした職業人に対する再教育の必要性を指摘している。

企業が開発する組込みソフトウェアは、運輸機器や産業機器や家電機器など、多様な機器に組み込まれて製品化されており（経済産業省商務情報政策局，2008），その開発には機器の種別に対応した多様な技術が必要である。また，組込みソフトウェアは，機器と一体で製品とみなされ製造物責任法の対象となるために，一定の基準を満たす品質が保証されなければならない。

他方，近年では，機器の機能拡大に伴いソフトウェアの開発規模が大規模化しているにもかかわらず，開発期間が短くなる傾向がある。たとえば，携帯電話のプログラム行数は，1989 年に数万行以下であり 2002 年には 220 万行と拡大したにもかかわらず，開発期間は 1 年が半年以下と短縮されている（情報処理学会 組込みシステム研究会，2008）。すなわち，組込みソフトウェア技術者には，ソフトウェア開発に対する生産性の向上が求められる。

多くの教育現場では基礎的な知識の教育を重視したプログラム言語の教育が行われている。しかし，企業が要求する品質と生産性を実現する技術と技能を備えた技術者を育成するための組込みソフトウェア教育は行われていない。そこで，組込みソフトウェアの職業人を養成する教育では，まず，企業が必要とする技術者の技術と技能を整理し，実践的な教育教材の開発がされなければならない。次に，職業人の本務は製品開発などの企業活動を行うことであり，彼らに対する教育時間が限られているために，教育教材を有効に活用するカリキュラムの構築が行われなければならない。

本章では，ESTEC（組込みソフトウェア技術者教育カリキュラム）の開発と妥当性の評価を行う。最初に，職業人に要求される技術と技能に対応した複数の教

育コースから構成される ESTEC を開発する。次に、開発した ESTEC を用いた職業人向けの教育を、大学で行われる社会人向けの人材養成プログラム（NEXCESS³）において実施する。最後に、ESTEC の妥当性を評価するために、受講申込者と受講者を被験者とした総合的な調査（調査 2-1）と、受講者を被験者としたプログラミング演習の評価実験（実験 2-2）を実施する。

2.2 ESTEC の開発

2.2.1 教育コース体系

本研究が対象とする職業人である組込みソフトウェア技術者は、次の 2 種類の特性を有する。第 1 に、技術者は、個人ごとに異なる技術と技能をもち、その技術レベルに応じた業務を遂行する。第 2 に、技術者は、いずれかの職種に属し、職種に応じた開発工程を担当する。

本研究では、これらの特性に鑑み、次の 3 段階の手順に従い教育コースを構築する。第 1 手順では、受講者である組込みソフトウェア技術者を、技術レベルと職種から構成される受講クラスに分類する。第 2 手順では、各受講クラスに属する技術者が開発現場において要求される技術と技能を列挙する。第 3 手順では、受講クラスに対応付ける複数の教育コースを開発する。

技術レベル

本研究では、技術者の技術レベルを、他者との技術的な関係において定義し、初級と中級と上級の 3 種類に分類した。初級レベルの技術者とは、他者からの技術的な指示を受け業務を行う能力をもつにとどまり、想定する経験年数が 5 年未満の者とした。中級レベルの技術者とは、経験年数が 5 年以上 10 年未満であり、他者の指示を受けずに業務を行う能力をもつ者とした。上級レベルの技術者とは、

³ Nagoya university EXtention Courses for Embedded Software Specialists. 文部科学省／科学技術振興調整費によって、名古屋大学において平成 16 年度から 5 年間の計画で実施される社会人向けの組込みソフトウェア技術者人材養成プログラムの名称。

表 2-1 3 種類の技術レベルにおける他者との関係と、想定する経験年数の一覧.

| 技術レベル | 他者との関係 | 想定経験年数 |
|-------|--|--------------|
| 初級 | 上司の指示に従い業務を遂行する | 5 年未満 |
| 中級 | 自らの判断に従い担当するプロジェクトを推進する | 5 年以上 10 年未満 |
| 上級 | 技術面における指導的な役割を持ち、他者へ指示を与え、会社の事業推進へ積極的に寄与する | 10 年以上 |

他者に技術的な指示を出すと共に会社の事業推進に寄与する技術的な貢献を行う能力をもち、おおむね 10 年以上の経験者とした。表 2-1 に、技術レベルに属する技術者に対する他者との関係と想定する経験年数を示す。

職種

企業の組込みソフトウェア開発は、異なる役割を与えられた技術者による共同作業として実施される。本研究では、技術者をその役割に従って、一般技術職と専門職と管理職の 3 種類の職種に分類した。なお、各職種に所属する技術者の技術レベルについては受講クラスの節で述べる。

一般技術職

一般技術職に所属する技術者は、ソフトウェア製品の生産活動に直接従事し、売り上げに直結する生産活動を行う。本職種の技術者は、ソフトウェア開発プロセスの全工程を遂行するが、それぞれの技術レベルに応じて担当工程が異なる。つまり、初級レベルの技術者は、ソフトウェア開発プロセスにおける技術難度が低い、詳細設計やプログラム実装などの工程を担当する。他方、中級レベルの技術者は、技術難度が高い、要求分析やアーキテクチャ設計などの工程を担当すると共に、初級レベルの技術者を補佐する。図 2-1 に、一般技術職における初級レベルと中級レベルの技術者が担当する工程を、

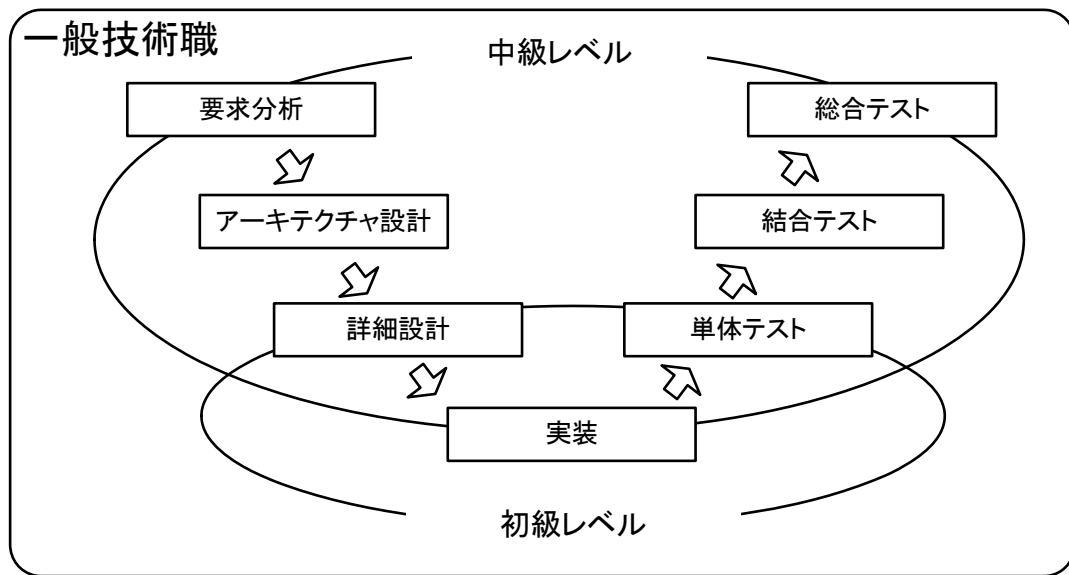


図 2-1 一般技術職として、初級技術レベルと中級レベルの技術者が担当する工程を、ソフトウェア開発の V 字モデルに対応付けて示す。

ソフトウェア開発の V 字モデル⁴を用いて示す。

専門職

専門職に所属する技術者は、特定分野に関する高度な技術を有し、直接にはソフトウェアの生産活動を行わずに、新技術の開発や一般技術職に対する高度技術の指導などを行う。

管理職

管理職に所属する技術者は、高度な管理技術を有し、ソフトウェア生産活動に対するプロジェクト管理と部下の指導を行う。

受講者クラス

3 種類の技術レベルと 3 種類の職種の組み合わせは、合計 9 通りが考えられるが、本研究では、「初級レベルと一般技術職」、「中級レベルと一般技術職」、「上級レベルと管理職」、そして「上級レベルと指導者」の 4 通りの組み合わせとする。

⁴ 左側に上から順にソフトウェア開発の上流工程を配置し、最下部を実装工程とし、右側に各上流工程に対応するテスト工程を配置する。

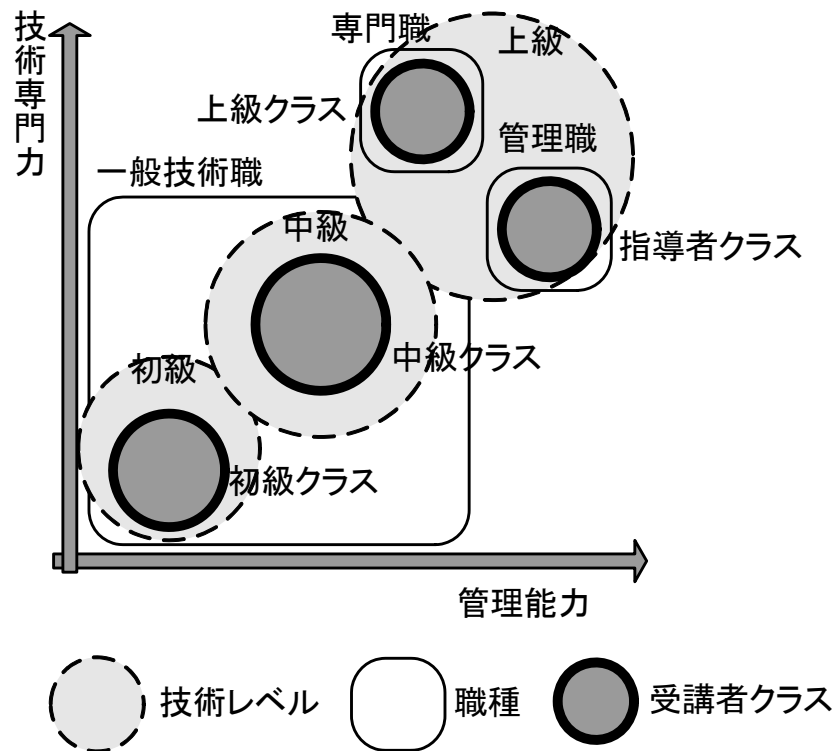


図 2-2 技術レベルと職種と受講者クラスの関係。受講者クラスは、技術レベルと職種の組み合わせに基づいて分類される。

一般技術職に上級レベルを設けない理由は、上級レベルの技術者が、一般技術職として生産活動には直接的に従事せず、管理職あるいは指導職としての職務を果たすためである。さらに、管理職と指導者は、職種の定義から共に高度な技術を有するために、技術レベルを上級に限定した。技術者は、この4通りの組み合わせのいずれかに所属し、これを受講クラスとする。図 2-2は、技術専門力と管理能力の軸上に、技術レベルと職種と受講者クラスの関係を示す。

初級クラス

初級クラスに所属する技術者は、主に製作工程などのソフトウェア開発における下流工程の業務を担当し、上司などから技術的な指示を受けて業務を遂行する。この工程ではプログラムを作成するために、彼らにはプログラミング能力が要求される。

中級クラス

中級クラスに所属する技術者は、主としてアーキテクチャ設計などソフトウェア開発の上流工程の業務を担当し、技術的な指示を受けずに自立して業務を遂行する技術力を有する。この工程では設計書を作成するために、彼らには設計力が要求される。

上級クラス

上級クラスに所属する技術者は、製品開発への専門技術の適用などの業務を担当し、技術的な指導を一般技術職に対して行うと共に、企業を技術的に先導する。

指導者クラス

指導者クラスに所属する技術者は、ソフトウェア製品開発に対する工程管理の業務を担当し、一般技術職を指導してソフトウェア開発を管理する。

育成項目

組込みソフトウェア技術者は、技術レベルと職種に呼応して要求される技術と技能が異なる。したがって、技術レベルと職種により分類された受講クラス別に、技術者の育成項目を定める。IPA/SEC（2005）は、組込みソフトウェア技術者に必要とされる技術と技能の水準を定め、ETSS（組込みスキル標準）として体系付けた。そこで、本研究では、ETSSを参考にして、育成項目を定めた。

ETSSは、組込みソフトウェア技術者に要求される技術体系であり、スキル基準とキャリア基準と教育研修基準の3種類の基準から構成される（IPA/SEC, 2006, 2007a, 2007b, 2007c, 2007d）。スキル基準は、組込みソフトウェア技術者が所有すべき技術と技能が定められており、個人の能力評価や組織の評価に用いられる。キャリア基準は、組込みソフトウェア技術者の職種が定義されており、スキル基準と併用することにより、職種の業務遂行に必要な技術と技能を定義する。教育研修基準は、教育の受講対象者と修了者がもつべき技術と技能をスキル基準に従って定義することを求めている。組込みソフトウェア開発力を強化するための教育研修において使用される。

キャリア基準には表1-2に示す10種類の職種が定義されているが、本研究では、その内の5種類（プロダクト・マネージャ、プロジェクトマネージャ、ドメイン・

スペシャリスト、ソフトウェア・エンジニア、テスト・エンジニア)の職種を教育対象としてカリキュラムを構築した。

まず、受講者クラスに属する技術者の職種を、これら5種類から選択した。すなわち、初級クラスには、ソフトウェア・エンジニアとテスト・エンジニアを対応付け、該当職種における技術力はETSSの技能水準においてエントリとした。中級クラスには、初級と同じソフトウェア・エンジニアとテスト・エンジニアを対応付けたが、その技術力はETSSの技能水準においてミドル以上とした。上級クラスには、ドメイン・スペシャリストを対応付け、指導者クラスには、プロダクト・マネージャとプロジェクト・マネージャを対応付けた。

次に、クラスの教育項目として、クラスに対応する職種の技術者がもつべき技術と技能を、ETSSのスキル基準から選択した。

教育コース

企業における教育時間は、新入社員向けの教育を除くと半数の企業では1年間に5日以内と限られる(経済産業省商務情報政策局, 2006)。企業での使用に耐える教育の開発においては、職業人に許される教育時間制約を満たす必要がある。この時間的制約を満たすために、ESTECでは1コースの受講期間を2日間から4日間と設定した。

教育コースは、初級クラスに1種、中級クラスに2種、上級クラスに5種の合計8種類を定義し教材を開発した⁵。ESTECでは、受講クラス毎に複数の教育コースを設定し、受講者はコースを選択して受講することとした。本論文における教育コースの略称は、クラス分類にコース数を明示する1からの連番を付記して「初級1」のように表記する。各教育コースの名称と実施内容を次に示す。

初級1：組込みソフトウェア開発技術の基礎

実装工程の実行に必要とされる組込みプログラミング力を主に学ぶ。

中級2：組込みソフトウェアの設計方法論と開発管理技術

設計工程の実行に必要な設計技術と組織的な開発手法を学ぶ。

⁵指導者クラスの教育コースは、2章で報告する期間内には開発されなかった。その後新たな教育コースが開発され、2008年度の教育コースは、初級クラスに4種類、中級に3種類、上級に5種類、指導者に2種類の合計14種類で構成される。

中級3：リアルタイム OS を用いたソフトウェア設計技術

RTOS (real-time operating system) を用いたアプリケーション開発の設計手法を学ぶ

上級4：リアルタイム OS の内部構造

RTOS の構造を理解し OS の性能評価などを行う技術を獲得する

上級5：C 言語ベースの組込みハードウェア設計

ソフトウェアとハードウェアの協調設計に関する技術を学ぶ

上級6：システム制御ミドルウェアとアプリケーション

ネットワーク上のアプリケーションを制御する技術を学ぶ

上級7：組込みシステムのためのソフトウェア工学

ソフトウェア品質と生産性の向上を工学的に行う基礎技術を学ぶ

上級8：ユビキタスインタフェースと画像処理組込みプログラミング

組込みシステムにおいて画像処理を行う技術を学ぶ

各教育コースにおける育成項目は、定められた期間内に教育し得る技術と技能が選択された。初級1の育成項目を表2-2に示す。

2.2.2 技能教育

企業の事業推進に寄与する人材育成には、教育を通じて技術に対する辞書的な知識を記憶させるだけではなく、実業務において利用可能な能力である技能を習得させる教育が求められる。こうした技能育成を行うためには、単に講義を受講するだけではなく、自ら演習に参加し技能を体験的に学習する体験型学習（演習）の重要性が指摘されている (Luigi, Vincentelli, & Pinto, 2005; 長島・近藤・田中・宮近・秋山・石渕他, 2006; 座古・鳴海・佐藤・山本・濱・柳父他, 2006)。組込みソフトウェア技術者教育では、技能育成が要求されるために、本研究で作成する全ての教育コースにおいて演習を行う。

演習分類

組込みソフトウェア技術者教育において行われる演習を、基礎演習型とシミュ

表 2-2 初級 1 の育成項目の一覧。育成項目の分類は、ETSS スキル基準の分類に従う。

| 第1分類 | 第2分類 | 第3分類 | 第4分類 |
|------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 技術要素 | 情報処理 | 情報入力 | ポート入力 |
| | | データ処理 | 時間計測 |
| | | 情報出力 | ポート出力 |
| | ユーザ・インタフェース | 人間系入力 | SW 操作 |
| | | 人間系出力 | LED 点滅 |
| | プラットフォーム | プロセッサ | M30262F8 |
| | | 基本ソフト | μITRON |
| | | 支援機能 | 統合開発環境 |
| 開発技術 | 要求分析 | 要求定義 | 構造化分析 |
| | 方式設計 | 構造決定 | タスク分割 |
| | 詳細設計 | 詳細設計 | 構造化設計 |
| | ソフトウェアコード作成とテスト | プログラム作成，テスト項目抽出 | C 言語 境界値テスト カバレッジ |
| | | レビュー | C 言語 |
| | | テスト実施 | テスト ROM 書込み タスクモニタ |
| | ソフトウェア結合 | テスト仕様 | 仕様書作成 |
| | | テスト実施 | テスト |
| | | マネージメント | V 字プロセス |
| | 開発プロセス管理 | マネージメント | V 字プロセス |

レーション型とプロジェクト型の3種類の型に分類した。

第1に基礎演習型では、実機演習と討議演習と文書演習が行われる。実機演習では、演習機材としてマイコンボードを用い、プログラム作成に要する技能の育成などが行われる。討議演習では、複数人で特定のテーマに関して討議を行い、レビュー技術に対する理解を深める。文書演習では、ソフトウェア開発の成果である設計書などの文書の作成を行い、設計力などを実践的に育成する。

第2にシミュレーション型では、ロールプレイ演習と事例研究が行われる。ロールプレイ演習では、受講者は発注者や仕様作成者などの役割を与えられ、特定のソフトウェア開発の工程を疑似体験し、学習した技術の実務への応用を学ぶ。他方、事例研究では、過去に行われたプロジェクトが教材として使用されることが特徴であり、受講者は実際に発生した問題の分析などを行い、製品に対する技

術の適用上の問題点を理解する。

第 3 にプロジェクト型では、PBL (project based learning) と OJT が行われる。PBL は、教育用に用意されたソフトウェア開発プロジェクトにおいて、学習者が一連の工程を体験してソフトウェアを開発する演習であり、実務における業務遂行の方法を体験的に学習する。他方、OJT は、職場の上司が具体的な仕事を通じて育成指導する教育手法であり、業務の遂行と同時に開発現場で行われる。したがって、教育現場で行われるプロジェクト型の演習は、PBL に限られる。

演習内容

組込みソフトウェア技術者教育では、PBL の実施が推奨される (IPA/SEC, 2007d)。しかし、企業の半数において教育時間が 5 日間以内に制限されており、新入社員教育などの特定教育を除き、PBL を実施することは困難である。他方、シミュレーション型の演習は、演習課題として特定のプロジェクトを使用するために、プロジェクトに固有な技術の理解が、演習を受講する前提条件となる。しかし、プロジェクト毎に固有な技術は異なるために、異なる企業からの参加者に対する教育では受講者の前提条件を揃えることが困難である。しかしながら、基礎演習型は、演習時間が比較的短時間であり、かつ固有技術に対する理解が演習の前提条件として不要であるために、異なる企業の技術者を対象とした組込みソフトウェア教育における演習形態として適する。

本研究では、基礎演習型により技能育成を行うために、マイコンボードを用いた実機演習が、各受講クラスの演習として作成された。知見・樫山・宮寺 (2005) は、プログラミング演習の受講者がバグを作りこんだ後に内省することでプログラム作成テストの成績が良くなることを確認している。ESTEC では、こうした先行研究の指摘に基づき、実機を用いたプログラミング演習の難度を受講者がバグを作りこむ程度に難しくし、バグの原因を特定する時間を演習時間に見込んだ。ESTEC ではプログラム演習の他に、文書演習と討議演習が用意され、要求分析などのレビューが演習として行われた。表 2-3 は、演習内容と演習時間と全授業時間における演習時間の比率を示す。

表 2-3 教育コース名と，演習内容と，演習時間（時間）と，コースの教育時間に占める演習時間の比率（％）の一覧．

| コース | 演習内容 | 時間 (h) | 比率 (%) |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| 初級 1：組込みソフトウェア開発技術の基礎 | スイッチ読み込みなどの基本的な組込みプログラミング演習 | 12 | 50 |
| 中級 2：組込みソフトウェアの設計方法論と開発管理技術 | 要求分析・構成管理・テスト・管理演習（文書，討議演習） | 10.5 | 44 |
| 中級 3：リアルタイム OS を用いたソフトウェア設計技術 | アプリケーション開発のプログラミング演習 | 12 | 50 |
| 上級 4：リアルタイム OS の内部構造 | OS プログラムの性能評価などのプログラミング演習 | 9 | 50 |
| 上級 5：C 言語ベースの組込みハードウェア設計 | システム LSI 設計のプログラミング演習 | 6 | 50 |
| 上級 6：システム制御ミドルウェアとアプリケーション | ネットワーク・プログラミング演習 | 6 | 50 |
| 上級 7：組込みシステムのためのソフトウェア工学 | 要求分析演習（文書演習） | 1 | 8 |
| 上級 8：ユビキタスインタフェースと画像処理組込みプログラミング | 画像認識のプログラミング演習 | 4.5 | 38 |

演習環境

本研究では，演習で使用するハードウェアとソフトウェアの整備費用を考慮して，演習環境の構築を実施した．

第 1 にハードウェアは，ホスト・マシンと演習ボードの双方において標準品を使用することにより，特殊品を使用するよりも費用を低減した．すなわち，ホスト・マシンは，Windows OS が動作する汎用パソコンとし，演習ボードは自動車制御などで幅広く使用される標準的な MPU（micro processing unit）を搭載する市販品とした．

第 2 にソフトウェアは，開発環境と RTOS の双方において，無償の製品を使用した．すなわち，開発環境は，MPU の評価用であるために作成するプログラム規模の制約があるが，プログラム演習用としての必要機能を完備する無償の統合開

発環境を使用した。他方 RTOS は、わが国の企業が最も多く使用する μ ITRON の仕様に準拠し、製品としても利用実績がある NPO 法人が無償で配布する RTOS を使用した。

2.3 調査 2-1（ESTEC の評価）

調査 2-1 の目的は、開発した ESTEC が、想定した受講クラスの技術者の期待する内容であることを確認することであり、2 種類の評価を実施した。1 種類の評価は、受講申込者に対して実施され、彼らの人数と、年齢と、業種を分析対象とした。もう一種類の評価は、受講者に対して実施され、彼らの受講経緯、欠席理由、総合、業務適用性、そして理解容易性を分析対象とした。

2.3.1 方法

教育実施

開発した ESTEC を用いて、2004 年 11 月から 2005 年 10 月にかけて、企業に勤務する組込みソフトウェア技術者を対象として、受講の申し込みが受け付けられ、受講者が選考された後に教育が実施された。

実施した教育コースの開催回数は、初級クラスのエデュケーションコースである初級 1 が 4 回、中級クラスの中級 2 と中級 3 が計 3 回、上級クラスの上級 4 から上級 8 が計 9 回の、合計 16 回であった。エデュケーションコースを開催回ごとに識別するために、初級、中級、上級の順に、コース略称に続けて 1 からの連番を「-1」のように付記する。すなわち、開催した 16 回のエデュケーションコースは、初級 1-1、初級 1-2、初級 1-3、初級 1-4、中級 2-5、中級 2-6、中級 3-7、上級 4-8、上級 4-9、上級 5-10、上級 5-11、上級 6-12、上級 6-13、上級 7-14、上級 7-15、上級 8-16 であった。

初級 1-1 から初級 1-3 は、それぞれ連続する 2 日間を連続する 2 週にわたり 4 日間のエデュケーションコースとして開催した。初級 1-4 は、それらより演習時間を長くし、連続する 3 日間を連続する 2 週にわたり 6 日間のエデュケーションコースとして開催した。い

ずれも、使用した教材は同一であった。

中級クラスには中級 2 と中級 3 の 2 種類の教育コースが含まれるが、いずれも連続する 2 日間を連続する 2 週にわたり 4 日間のコースとして開催した。上級クラスでは、上級 4 が連続する 3 日間であり、上級 5 から上級 8 は連続する 2 日間であった。

全ての教育コースは、平日の 9 時 30 分から 17 時 00 分に実施し、1 時限を 90 分間とし全 4 時限で 1 日を構成した。マイコンボードを用いる演習では、ホスト・マシンの PC とマイコンボードなどの開発環境を、受講者 1 人につき 1 式ずつ用意した。演習時には、演習機材の動作不良への対応などを目的として、平均 4 名の TA (teaching assistant) を配置した。

教育コースの定員は、講義室の収容能力と演習用機材の制約から、初級および中級クラスの教育コースは 30 名であり、上級クラスのコースは 20 名とした。

対象

調査対象者は、2004 年 11 月から 2005 年 10 月に開催した教育コースの受講申込者と、その中から受講が認められた受講者の 2 種類に区分される。

受講申込者は、3 種類の評価項目（受講申込者数、年齢、業種）に対する調査対象者である。受講者は、5 種類の評価項目（受講経緯、欠席理由、総合、業務適用性、理解容易性）に対する調査対象者である。

手続

教育コースへの受講希望者の申し込みは、開講日の約 4 週間前から 2 週間にわたって NEXCESS が提供する申込専用の Web サイトで受け付けられた。受講申込者は、申し込み時に氏名と年齢と所属企業と所属部署と上司許可の有無と受講動機と技術経験に関して回答を求められた。受講申込者は、上司による受講許可の有無を 2 肢選択法（1「無い」と 2「有る」）で求められ、他の質問項目に対しては自由記述形式による記入が求められた。その結果、のべ 586 名から受講申込があり、彼らが提供するデータを、3 種類（受講申込者数、年齢、業種）の評価項目の対象とした。

次に、受講申込者の中から、以下に示す 3 種類の選考基準に従って受講者を選

考した。

1. 受講申込者の業務経験や職種などが、予め定められた教育コースの受講条件を満たしていること。
2. 教育の受講機会が少ない中小企業の技術者に配慮し、定員内に2割の中小企業枠を設け優先的に選考すること。
3. 異なる企業からの受講者が選考される機会を確保するために、同一企業あるいは事業部から複数名の申し込みがあるときには、高々1名に制限すること。

選考の結果、389名に受講を許可した。受講者に対して、受講期間内に研究者が指定するWebページで、受講関心と業務適用度と理解容易性と総合の各評価をそれぞれ5肢選択法（1「無い・悪い」から5「有る・良い」）で求め、また、これとは別に受講の感想を自由記述式で記入することを求めた。彼らが提供するデータを、5種類（受講経緯、欠席理由、総合、業務適用性、理解容易性）の評価項目の対象とした（付録1参照）。

2.3.2 調査 2-1 の結果と考察

(1) 受講申込者の分析

申込者数の分析

受講クラス別の受講申込者数の平均は、初級クラスが56.3名、中級が37.7名、上級が27.6名であり、技術レベルが高くなるに従い受講申込者の数が順に減少する傾向が認められた。

経済産業省商務情報政策局（2008）は、技術レベルが上位になるほど技術者が減少することを報告している。この技術レベルと技術者数の関係性により、ESTECにおいても、初級から、中級を経て、上級に向けて受講申込者数が減少したと考えられる。

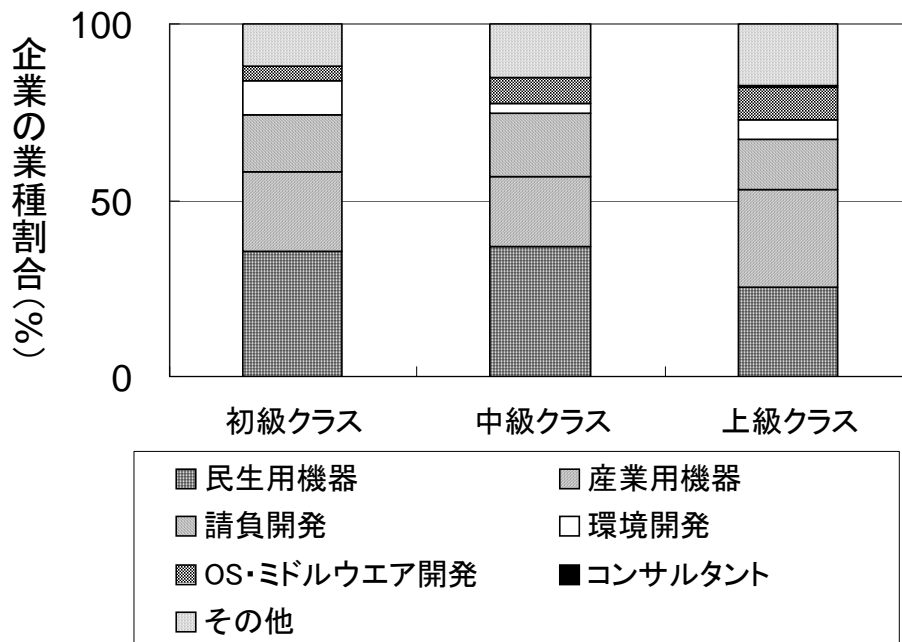


図 2-3 受講申込者が所属する企業の業種分析 ($n = 237, 111, 238$).

年齢の分析

受講クラス別の受講申込者の年齢平均は、初級クラスが 28.5 歳、中級が 32.7 歳、上級が 34.7 歳であり、技術レベルに応じて年齢が高くなる傾向が認められた。各クラスの技術者の入社後の経過年数は、入社時の年齢を 24 歳と仮定すると、それぞれ、4.5 年、8.7 年、10.7 年となり、各受講クラスに設定した想定受講者の経過年数とほぼ一致した。この結果から、受講クラスに所属する技術者の定義と各クラスの教育コースの開発が、設計どおりに行われたと考えられる。

申込企業の分析

受講申込者が申し込み時の質問票に回答した所属企業の業種は、全クラスにおいて、民生用機器と産業機器の割合が 5 割を超えることを確認した。図 2-3 は、クラス別に受講申込者の所属する業種を、民生用機器、産業用機器、請負開発、環境開発、OS・ミドルウェア開発、コンサルタント、そしてその他の別に集計しその割合を示す。この結果は、組込みソフトウェア教育を必要とする技術者は、その過半数が製造業に勤務していることを示し、ESTEC の開発においては、製造業

表 2-4 各クラスにおける受講申込者が所属する企業業種の、民生用機器と産業機器の割合（％）.

| | 初級クラス | 中級クラス | 上級クラス |
|-------|-------|-------|-------|
| 民生用機器 | 35 | 37 | 25 |
| 産業用機器 | 23 | 20 | 28 |

における技術者の業務を分析する必要性を示唆する.

さらに、初級と中級クラスの受講者は民生用機器の業種に、上級クラスの受講者は産業用機器の業種に多く所属する傾向を確認した. この結果は、産業用機器の業種では専門性の高い技術教育を求める傾向が強いことを示唆する. 表 2-4は、受講申込者が所属する民生用機器と産業機器の割合をクラス別に示す.

(2)受講者の分析

受講経緯の分析

本教育を知った経緯は、上司の紹介による者が全体の 44%と最多であり、初級においては 63%になることを確認した. この結果は、企業では上司による部下の人材育成が行われており、特に経験年数が少ない初級クラスの技術者は上司の指示に従って教育を受講する傾向があることを示唆する. 他方、受講者個人が本教育を知るときには、その 96%が上司の許可を得て受講の申し込みを行うことを確認した.

これらの結果から、上司が部下の育成を支援することが、職業人教育の普及における一つの条件であると考えられる.

欠席理由の分析

教育コースの全日程への出席が、コースの修了条件であったが、受講者 389 名の内 20 名が授業を欠席し修了条件を満たさなかった. 欠席した受講者に対して講義終了後に電子メールにより欠席理由を質問したところ、18 名から回答を得た. その結果、14 名が、緊急業務発生などのために業務を優先せざる得なくなり、教

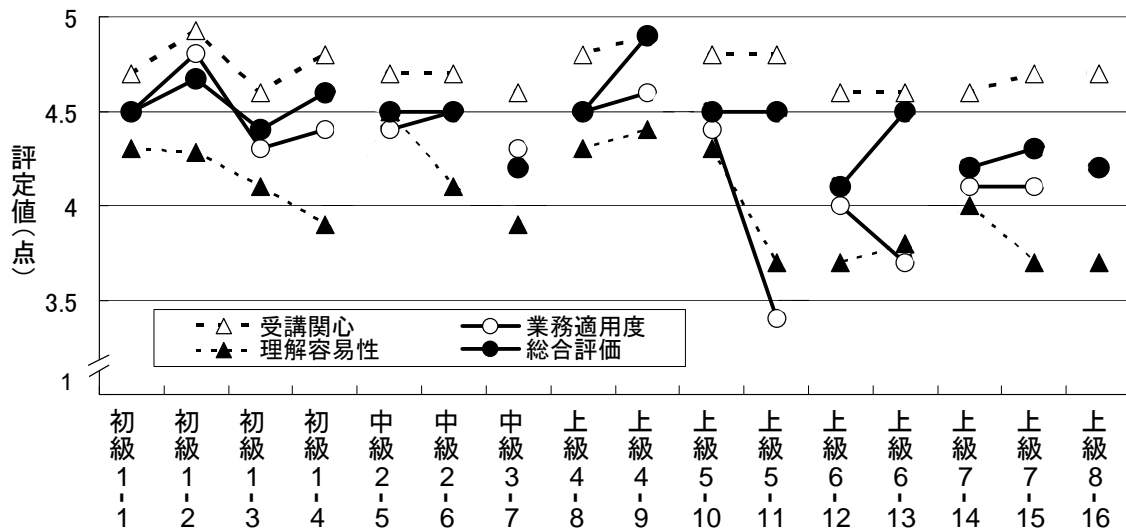


図 2-4 受講者による教育コースの評価 (N=389). 教育コース単位に、評価項目の評定点を線で結び示す。

育の受講が不可能になったことを報告した。残りの 4 名は、健康上の理由であった。

この結果から、職業人に対する教育を計画通りに実施するためには、受講者本人と業務を管理する上司により事前に業務を調整することが必要であると考えられる。

総合評価

図 2-4は、教育コース別の受講関心と、業務適用度と、理解容易性と、総合の合計 4 種類の評価項目に対する受講者の評定値平均を示す。総合評価の平均は、全ての教育コースで 4 以上であることを確認した。

業務適用度

受講内容の業務への適用に対しては、上級 5-11 と 6-13 において、4 を下回る評定値が与えられたことを確認した。他にも、上級 6-12, 7-14, 7-15, 8-16 の評定値平均は、初級と中級クラスにおける全コースの評定値平均に比べて低い値を示した。これらの教育コースにおける受講者は、質問票の自由記述欄に次の記述を行っていた。

学術的に言われると理解できずに混乱してしまうことが多かった（上級 5-11）.

講義内容は非常に面白いと思ったが現時点での実用性はまだわからない（上級 6-13）.

これらの記述は，受講者には，専門的な技術の理解に困惑する者と，専門技術と開発現場の業務との間に関係性を見出せない者が存在することを示す．このことは，受講者が上級コースの受講に必要な基礎的な技術をもたないことが一因であると考えられる．さらに，教材や教授方法の原因についても考えられる．例えば，上級 5-11 の業務適用度は，同一コースの異なる開催回である上級 5-10 よりも低い値を示す．これは，上級 5-10 と 5-11 では講師が異なり，上級 5-10 の講師は企業との共同研究の経験が豊富で基礎技術と業務との関係性を示す講義を行い得たが，上級 5-11 の講師は経験が浅いために技術の業務への適用に関して十分に説明し得なかったためであると考えられる．

理解容易性

理解容易性の評価値は，中級 2-5 を除く全ての教育コースにおいて，総合評価の評価値に比べて低い値を示した．特に，初級 1-4，中級 3-7，上級 5-11，6-12，6-13，7-15，8-16 の教育コースにおいては，理解容易性の評価値が 4 以下であった．理解が困難であると回答する理由は，受講者の技術力と教育内容の難易度が適合していないことが考えられる．

理解容易性に低い評価値を与えた受講者は，質問票の自由記述欄に次の記述を行っていた．

OS を利用することにまだ慣れていないため，勉強が必要です．駆け足で進みましたので理解に苦しみました（初級 1-4）.

割り込みの手順は理解できていたが，プログラムに落とすのに苦労した（中級 3-7）.

実習時間が短く，とりあえず動作させることに専念してしまい，処理の低計算化を意識したプログラミングを行うことができませんでした（上級 8-16）.

これらの記述は，自らの期待通りには演習問題を解き得ない体験を通じて，受

講者が技術と技能の習得状況を確認することを示す。

初級 1-4 に対する理解容易性の評定値が、他の初級コースに比べて低いことは興味深い。初級 1-4 と他の違いは、演習時間の長さにある。すなわち、初級 1-4 は 6 日間の教育コースであり、同じ教材を使用する他の 4 日間の初級コースよりも演習時間が長い。この結果は、時間をかけて演習を行うにもかかわらず自分の期待通りに問題を解くことができないときに、受講者は教育内容の理解に対する自己評価を深めると考えられる。

プログラミング技能は、受講者により異なることが想定されるために、演習問題が解けない受講者は講師が配布する解答を用いて演習を継続するように配慮した。それにもかかわらず、初級 1-4 においては、演習時間を長くすると理解容易性が低下した。これら結果は、演習を通じて受講者の理解を深めるために、プログラミング演習における受講者の行動を分析し、演習の教育効果を高める方法を検討する必要があることを示す。

2.4 実験 2-2（プログラム演習の評価）

実験 2-2 は、プログラム演習の教育効果を高める方法を検討することを目的とし、プログラミング演習における教育の実態を把握するために、演習中のキー操作が記録された。

2.4.1 方法

対象

実験 2-2 では名古屋大学が推進する NEXCESS における初級クラスの教育コースにおける受講者 30 名が提供するデータを分析の対象とした。対象とする教育コースの名称は、「初級 1：組込みソフトウェア開発技術の基礎」であり、4 日間の講義と演習を行う。教育は、2006 年 11 月 30 日、12 月 1、7、8 日に実施した。

各日とも、教育時間は 9 時 30 分から 17 時 00 分であり、1 時限を 90 分間とし、

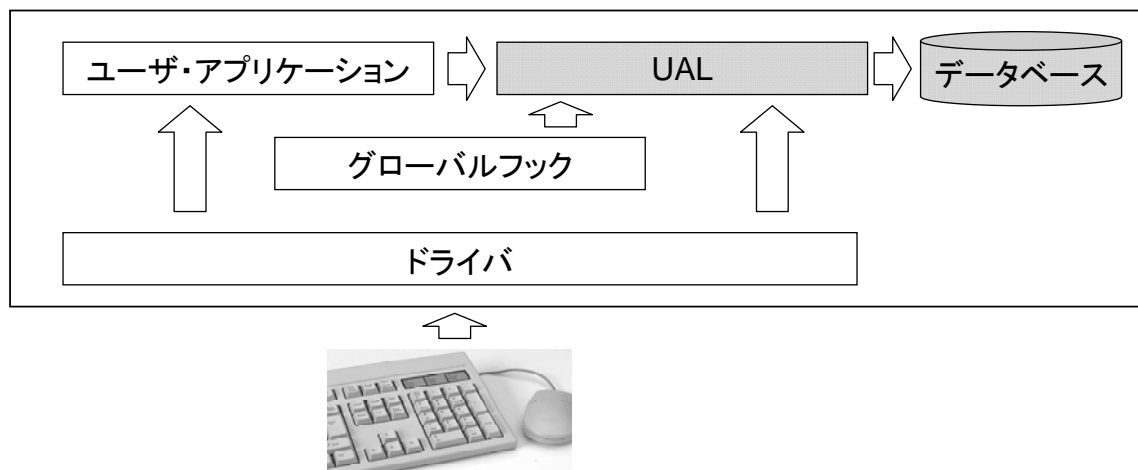


図 2-5 キー入力回数の記録システム (UAL)．ユーザ・アプリケーションに影響を与えずユーザのキー操作を記録する．

1 日あたり 4 時限で構成される．受講者の募集条件は，組込みソフトウェア開発に従事し，かつ C 言語プログラミング経験が 2 年以上あり，かつ現在ソフトウェアの製作工程に従事していることであった．全国からの応募者は，53 名であった．彼らが，募集条件に合致することを確認し，定員 30 名を選考した．30 名の内訳は，男性 29 名，女性 1 名であり，平均年齢は 27.2 歳である．

記録システム

組込みソフトウェア教育におけるキー操作を記録するために，UAL (user activity logger) アプリケーションを開発した．UAL は，Windows のグローバルフック機能を用い，ユーザのキー操作を記録する Windows アプリケーションである．UAL は，1 分あたりのキー操作回数を 1 分単位で計測し，データベースに記録する機能を有する．図 2-5 は，UAL と他のプログラムとの関係を示す．

手続

被験者である受講者の課題は，参加した教育の第 4 日目における第 1 時限 (90 分間) の時間内に，演習用ボードに搭載されたスイッチを操作し，発光ダイオードを点滅させる μ ITRON アプリケーションのプログラムを C 言語でコーディングすることと，演習終了後に演習中に感じたことを自由記述形式により回答するこ

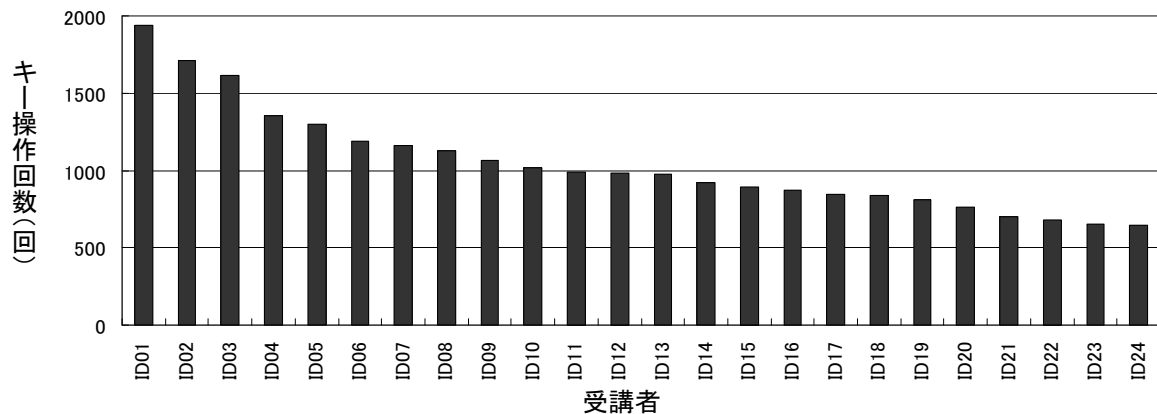


図 2-6 受講者によるプログラミング演習時のキー操作回数 (N=24)。

とであった (付録2 参照)。

2.4.2 実験 2-2 の結果と考察

UAL によるキー操作の記録に成功し、かつ演習回答を提出した 24 名を分析対象とした。

プログラミング演習において受講者は、まずプログラムをコーディングし、次に動作させ、そして動作不良の原因を特定しプログラムを改訂するコーディングを行う。受講者は、この作業を正解に到達するまで繰り返し行うことにより、プログラミング技能を向上させる。演習問題は、講義内容のみを使用して解答可能であるために、演習中に生じる動作不良は、受講者の理解不足が主たる原因であると考えられる。

図 2-6は、受講者のキー操作回数を示す。縦軸は演習時間内のキー操作総数であり、横軸は受講者を示している。受講者によってキー操作回数に差があり、最多回数は 1,939 回、最小回数は 646 回、平均回数は 1,044 回であった。

演習回答として正しく動作するプログラムを作成する受講者は、コーディングと動作確認の繰り返し回数が多く、結果としてキー操作回数が多くなるという仮説を立てた。そこで、プログラム演習を正答した受講者のキー操作回数が多いか否かを確認するために、演習問題の正答者を正答群へ、誤答者を誤答群へ分割し、

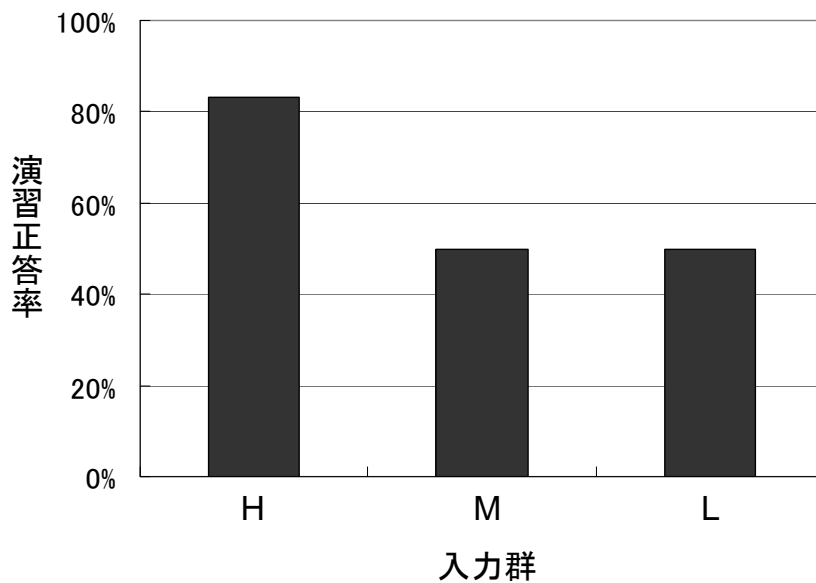


図 2-7 キー操作回数群別の演習正答率（順に $n = 6, 12, 6$ ）.

各群別にキー操作回数の平均を求めた．その結果，正答群に属する被験者数は 14 名，誤答群は 10 名であり，群別のキー操作回数の平均は，正答群が 1,094 回，誤答群が 974 回であった．両群のキー操作回数の平均が異なるか否かを確認するために t 検定を実施した結果，両群の平均値の差は有意でなかった（両側検定： $t(22) = 0.85$, $p > .10$ ）．

次に，被験者を四分位により入力回数の多い者から 6 名を H 入力群，少ない者から 6 名を L 入力群，その他 12 名を M 入力群へ分割した．各群の別に演習問題の正答者を求めた結果，H 入力群では 5 名が，M 入力群では 6 名が，L 入力群では 3 名が正答し，群別の正答率は，H 入力群が 83%であり，M 入力群と L 入力群が共に 50%であった．図 2-7は，各群の正答率を示す．各群における正答者と誤答者の割合が，群間で異なるか否かを確認するために χ^2 検定を実施した結果，人数の偏りは有意ではなかった（ $\chi^2(2) = 2.06$, n.s.）．統計的に有意な差を得るには至らないが，図 2-7では，H 入力群の正答率が最も高く，M 入力群と L 入力群では差が無い傾向を示す．

受講者は，講師が与えた設計に従いプログラミングを行うために，受講者の作成するプログラム行数に大きな差はないと考えられる．したがって，H 入力群の正答率が高いことは，動作不良を特定するためのコーディングと動作確認を繰り返す

返し行い、演習に正答した受講者が多いことを示唆する。他方、キー操作回数で区別された M 入力群と L 入力群が、演習正答率において差を示していないことに着目すると、キー操作の総数の少なさが、受講者に課題を解くプログラミング技能が養成されていないことを必ずしも示していないと考えられる。すなわち、キー操作回数が少ないにもかかわらずに正答した受講者は、コーディングと動作確認の少ない繰り返しにより正答を得たと考えられる。

以上のことから、キー操作回数が多い受講者は正答する割合が高いが、正答者であるからキー操作回数が多いわけではないことが確認された。

次に、キー操作の停止時間に着目した。受講者は、キー操作の停止中に、講義資料の再調査と自らの書いたプログラムの理解を行うことが、彼らの自由記述欄の次の記述から確認された。

マニュアルや回路図からプッシュスイッチのビット位置を調べるのに手間取った。

プログラムの内容を理解するのに時間がかかった。

受講者は、再調査とプログラムの理解を通じ、自身のプログラミング能力を自ら養成すると考えられる。その意味において、演習中にキー操作を中断して資料調査などを行い、結果としてプログラムを完成するまでに至らない受講者に対しても、教育効果は認められる。

しかし、演習課題が不正解であった受講者には、質問票の自由記述欄に次の記述を行う者が存在した。

自分の知識が足りず、徐々にやる気をなくしてしまいました。

プログラムが動作しないまま終わり不満足であった。

これらの記述から、演習課題を解くことができないときに学習意欲を失う受講者の存在が確認された。演習に誤答する受講者は、H 入力群に比べて、M と L 入力群に多く存在するが、彼らは資料調査と作成したプログラムの考察に時間を要し、キー操作が停止している時間が長いと考えられる。そこで、学習意欲を失う受講者が生まれる状況に対する打開策として、講師は、演習中にキー操作を長時間停止した受講者を検出し、演習プログラムの作成に必要な指導を実践することが示唆される。

2.5 第 2 章の結論

本章の目的は、ESTEC を開発し、妥当性を確認するために教育評価を行うことであった。

まず、ESTEC を開発するために、受講者を技術レベルと職種の違いにより受講クラスに分類した。次に、各クラスの技術者の業務遂行に必要とされる技術と技能を、ETSS に列挙された項目を用いて定義し、8 種類の教育コースの教材を作成した。コースの教育方法には、辞書的な知識を記憶させるだけではなく、実業務で使用する技能を演習により育成するために、プログラミングを中心とした演習を適用した。

開発した ESTEC に対する評価は、調査 2-1 と実験 2-2 で行われた。

調査 2-1 は、開発した ESTEC の総合的な評価を行うために行われた。適用した教育の実態を把握するために、1 年間にわたり異なる職業人に対して、初級と中級と上級の各受講クラスにおいて、合計 16 回の教育コースが開催された。

1 コースあたりの受講申込者数の分析から、職業人の組込みソフトウェア技術教育を必要とする技術者の人数は、初級から、中級を経て、上級クラスに向けて順に減少することが確認された。受講者の所属企業の種別は、民生と産業機器の製造業が 5 割以上を占めており、教育の受講を必要とする技術者が製造業に最も多く所属することが確認された。

受講者に対して、受講期間に、受講関心、業務適用度、理解容易性、そして総合評価の各評価をそれぞれ 5 肢選択法（1「無い・悪い」から 5「有る・良い」）で評価することと、受講の感想を自由記述式で記入することを求めた。その結果、総合評価の評定値平均は全ての教育コースで 4 を上回ることを確認した。他方、業務適用度に対する評定値平均は、高度な専門技術の教育を行う上級 5-11 と 6-13 において、4 を下回ることを確認した。また、理解容易性に対する評定値平均は、1 種類の教育コースを除き総合評価の評定値平均よりも低い値を示した。

調査 2-1 の結果は、ESTEC は業務適用度と理解容易性に対して改訂の余地を残すが、総合的には受講者から一定の評価を得ることを示した。このことは、本研究で実施した教育コースが、組込みソフトウェア技術者教育に適していることを示唆し、さらなる教育コースの作成を本研究と同一の手法で行い得ることを示唆する。

実験 2-2 は、プログラミング演習における教育の実態を把握するために、初級クラスの教育コースに参加した職業人の受講者を被験者として行われた。彼らの課題は、演習用ボードに搭載されたスイッチを操作し発光ダイオードを点滅させる μ ITRON アプリケーションのプログラムを C 言語でコーディングすることと、演習終了後に演習中に感じたことを自由記述形式により回答することであった。被験者のキー操作を記録するシステムが実験用に開発され、1 分毎のキー操作回数が記録された。

受講者を演習課題の正答者と誤答者に分けてキー操作回数の平均を求めたところ、両者に有意な差がないことを確認した。次にキー操作回数によって受講者を 3 群（回数の昇順に L, M, H 入力群）に分類し、各群における演習の正答者に基づいて、群別の正答率を求めたところ、H 入力群の正答率が他の群よりも高く、M 入力群と L 入力群の正答率は同じ値を示した。これらの結果から、キー操作回数が多い受講者は正答する割合が高いが、正答者であるからキー操作回数が多いわけではないことが確認された。

次に、キー操作の停止時間に着目すると、受講者は、講義資料の再読と自らの書いたプログラムの考察を行うことが、質問票への回答から確認された。演習に誤答する受講者は、H 入力群に比べて、M と L 入力群に多く存在することは、彼らのキー操作が停止している時間が長いことを示唆する。さらに、演習課題を解くことができないときに学習意欲を失う受講者の存在が確認された。

そこで、演習中にキー操作を長時間停止した受講者を検出し、受講者が学習意欲を失う前に、講師が演習プログラムの指導を実践する可能性が提案された。

第 3 章

受講者と上司による教育評価実験

3.1 目的

本章の目的は、前章において開発した ESTEC を用いて職業人に対する教育を実施した後に、受講者とその上司に対して受講者の行動水準の教育評価を求め、両者の評価特性を比較検討することである。

職業人教育において受講者は、主体的に自らの能力向上に取り組むことが求められる。他方、受講者の上司は、業務時間内における教育受講を許可するなど、部下の育成指導を行う責務を持つ。したがって、行動水準における教育評価は、受講者自身による自己評価によって行われるだけではなく、直属の上司による他者評価によっても行われることが求められる。

先行研究は、自己評価と他者評価では、評定値に差異が生じる可能性があることを指摘している (Dunning et al., 1989; Hamilton, et al., 1971)。そこで、本章では、行動水準の教育評価においても、両者の評定値に差異が生じるのか、生じるならばどのような差異が生じるかについて検討を加える。具体的には、第 2 章で開発した ESTEC を使用した教育の受講前後に、受講者に対する業務遂行の能力評価を実施する。

実験 3-1 は、受講者の自己評価と上司の他者評価における差異を確認するために予備的に行われた。受講者とその上司からなる被験者に対する課題は、受講者に対する業務遂行能力の総合評定値を、受講前後の 3 種類の時期（1 週間前と 1 週間後と 4 週間後）に、4 段階の尺度によって求めることであった。

調査 3-2 に参加した受講者とその上司は、業務遂行能力の評価に用いる項目の記述が求められた。

調査 3-3 の被調査者は調査 3-2 とは異なる受講者と上司であり、彼らの課題は、調査 3-2 で抽出された項目に与える重みを多肢選択法で回答することであった。

実験 3-4-1 の被験者は新たな受講者と上司であり、彼らの課題は、調査 3-2 の結

果として抽出された項目に対して、受講者の業務遂行能力を、受講前後の3種類の時期（1週間前と1週間後と4週間後）に7段階の評定尺度によって評定することであった。

実験3-4-2と実験3-4-1には、同一の被験者が参加した。彼らの課題は、実験3-4-1から20週間後に、つまり受講からの直接的な影響を受けない通常業務の状況下で、実験3-4-1の課題と同じ長さの期間にわたって業務遂行能力を再度評定することであった。

本章では、初級と中級クラスの技術者向けの教育コースの受講者と、直属の上司が提供するデータを分析対象とした。前者は、組込みプログラミング技術の習得を目的とする全4日間の教育コースであり、後者は、ネットワーク通信を行う技術の習得を目的とする連続2日間の教育コースであった。

各教育コースの受講者は、全国の企業に勤務する技術者であり、彼らは所定の受講条件を満足する申込者の中から、定員30名あるいは20名のクラスに、選出された。受講者の申込は、開講日の約4週間前から2週間にわたってNEXCESSが提供する申込専用のWebサイトで受け付けられた。

3.2 実験3-1（予備実験）

実験3-1は、教育により受講者が組込みプログラミング能力を向上させることと、受講者の自己評価と上司の他者評価における潜在的な差異を確認するために行われた。本実験における被験者は、教育の受講者本人と、その直属の上司である。被験者である受講者の課題は、受講の前後にプログラミング能力テストを行うことと、教育受講の1週間前と1週間後と4週間後に、自らの業務遂行能力に関する評定値を与えることであった。上司の課題は、受講者と同じ時期に受講者の業務遂行能力に関する評定値を与えることであった。

3.2.1 方法

対象

実験 3-1 では名古屋大学が推進する NEXCESS における初級クラスの技術者を対象とした教育コースの受講者 60 名およびその上司が提供するデータを分析の対象とした。対象とする教育コースは「初級 1: 組込みソフトウェア開発技術の基礎」であった。このコースでは、組込みスキル基準に即した初級技術者に等しく要求されるソフトウェア開発プロセスの概要、構造化設計、C 言語プログラミング、テスト設計、RTOS 概要に関する 4 日間の講義と演習を行い、受講者の組込みプログラミング能力を育成した。各日とも、教育時間は 9 時 30 分から 17 時 00 分であり、1 時限を 90 分間とし、1 日あたり 4 時限で構成されていた。実験は、2 回のコースで行われ、第 1 回目は 2006 年 9 月 4, 5, 11, 12 日、第 2 回目は 2006 年 11 月 30 日、12 月 1, 7, 8 日に実施した。

受講者の募集条件は、組込みソフトウェア開発を行っており、C 言語プログラミング経験が 2 年以上あり、ソフトウェアの製作工程に従事していることであった。全国からの応募者は、第 1 回目が 42 名、2 回目が 53 名であった。彼らが、募集条件に合致することを確認し、1 回あたり定員を 30 名とし、合計 60 名を選考した。60 名の内訳は、男性 55 名、女性 5 名であり、彼らの平均年齢は 27.7 歳である。なお、60 名の中で 4 名のみが同一企業に所属していた。

学習水準のデータ記録

学習水準の評価として、組込みプログラミング能力に関するテストが、教育コース開始初日の最初の時限と、最終日の最後の時限に実施された。本テストは 4 種類の設問から構成され、筆記回答形式で実施された。1 問の正答に対して 5 点を与えられ、4 問に正解すると合計 20 点与えられた。設問は、組込みプログラミングで使用する「ポート、16 進数、ビット操作、制御」に関する C 言語によるプログラミング能力を問う問題であった（付録 3 参照）。

本テストを受けた者は、60 名であった。

行動水準のデータ記録

実験 3-1 の参加者は、異なる企業に所属しほとんどが同一の業務に従事していない。そこで、受講者と直属の上司に対して、業務を特定せず受講者の総合的な業務遂行能力に関する選択式の質問を実施し、行動水準における評価とした。受講者と上司の課題は、最近 1 ヶ月の間に仕事をする受講者の能力が向上したことを感じるか否かについて、4 肢選択（4.そう、3.まあそう、2.ややちがう、1.ちがう）方式で回答することであった。質問票への回答は Web を用いて、教育コースの開始 1 週間前、1 週間後、4 週間後に実施された。課題の回答に用いた Web ページでは、研究者が指定する URL（uniform resource locator）においてログイン名により認証を行い、HTTPS（hypertext transfer protocol security）プロトコルで暗号化した通信により、盗聴と改ざんから保護した。

全ての質問票へ回答した者は、60 名中 35 名であった⁶。

3.2.2 実験 3-1 の結果と考察

本実験でのデータ分析は、学習効果および業務遂行能力変化のデータ記録が共に行われた 35 名を対象として、実施された。

学習水準の結果

図 3-1 は、受講者の事前テストと事後テストの関係を示す。横軸は事前テストの得点を、縦軸は事後テストの得点を示し、各交点の人数を等高線形式で表示する。

事前テストと事後テストの平均得点は、それぞれ 10.1 点と 14.9 点であり、事後テストが事前テストよりも 3.8 点上回っている。具体的には、事後テストの得点において、事前テストの得点よりも高い受講者が全受講者 35 名中の 26 名、変わらなかった者が 7 名、低い者が 2 名であった。事前テストよりも事後テストの平均得点が高いか否かを確認するために t 検定を行った結果、テスト得点は、事後テス

⁶未回答者への追跡調査をしていないため、未解答の理由は不明である。電子メールにより質問票への記入依頼を都度実施しているため、記入忘れによる原因は考えにくい。

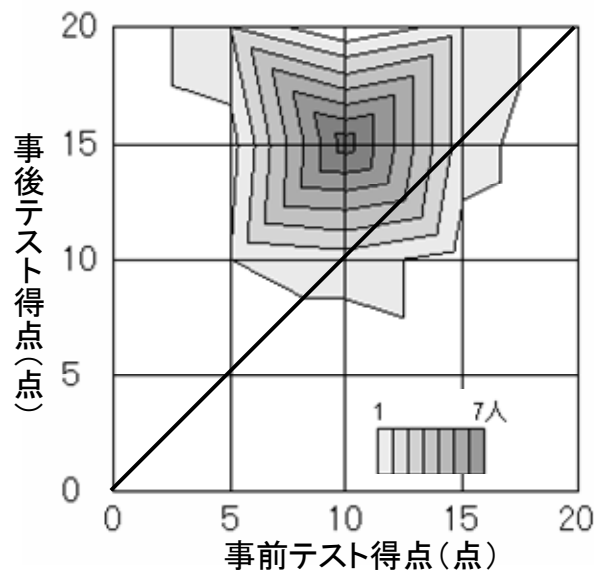


図 3-1 教育受講の事前と事後に行ったテスト得点を対にし、各対における被験者の人数 ($N=35$)。

トにおいて事前テストよりも有意に高いことが確認された (両側検定: $t(34) = 5.28$, $p < .05$)。

このことは、受講者は教育コースを受講することにより、コースの育成目標である組込みプログラミングの技能を向上させることを示す。

行動水準の結果

図 3-2は、受講 1 週間前、1 週間後、4 週間後のそれぞれの時期における業務遂行能力に関する受講者による自己評価と、上司による他者評価の成績を示す。受講者は受講 1 週間前よりも 1 週間後に、上司は 4 週間後に評定値を高い値を示す傾向が見られる。そこで、評価主体（上司、受講者）× 時期（受講 1 週間前、1 週間後、4 週間後）による 2×3 の混合計画による分散分析を実施した結果、時期による主効果のみが有意であった ($F(2,136) = 6.11$, $p < .01$)。LSD 法による多重比較の結果、受講者の水準において、受講 1 週間後および 4 週間後の業務遂行能力の評定値平均が、受講 1 週間前の値よりも有意に高かった ($MSe = 0.19$, $ps < .05$)。

分散分析により、受講者は、自身の業務遂行能力を教育受講前よりも

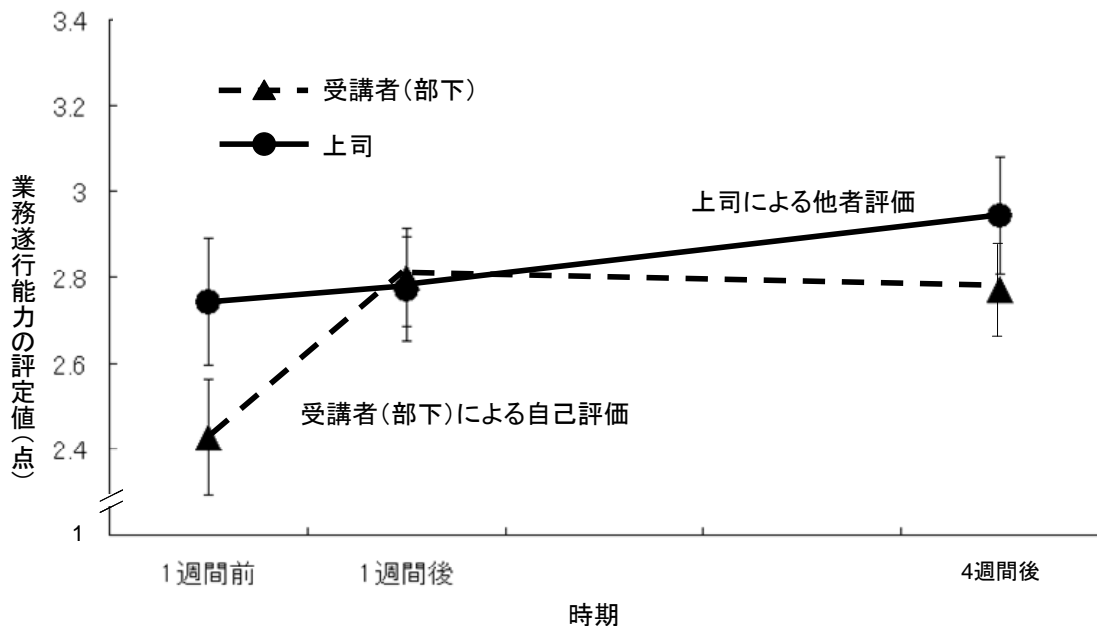


図 3-2 教育受講の1週間前と1週間後と4週間後における業務遂行能力の評定値推移（上司数 = 35，受講者数 = 35）。エラーバーは，標準誤差を示す。

受講後に高く評価していることを確認した。統計的に有意な差を得るには至らないが，上司は受講1週間前よりも4週間後に評定値を高くする傾向が認められた。

評価の時間的な差異

図 3-3は，業務遂行能力に関する受講者による自己評価と，上司による他者評価の関係を示す。横軸は，受講者による自己評定値を，縦軸は上司による他者評定値を示し，各交点の評定値を取る組数を等高線形式で表示する。各軸において，1が能力の伸びは低く，4が高いことを示す。

受講1週間前には左側の縦方向になだらかに評価が集まっているが，1週間後に右上に移動し，4週間後には右上に評価が集中している。これらのことは，受講1週間前には受講者は自身の業務遂行能力を低く自己評価しているのに対して，上司の受講者に対する他者評価はばらついていることを示す。1週間後には，受講者の自己評価が高まるが，上司の他者評価は，それに呼応しない。ところが，4週間後には上司の評価が高まり，受講者による自己評価とほぼ等しい値を示す傾向が

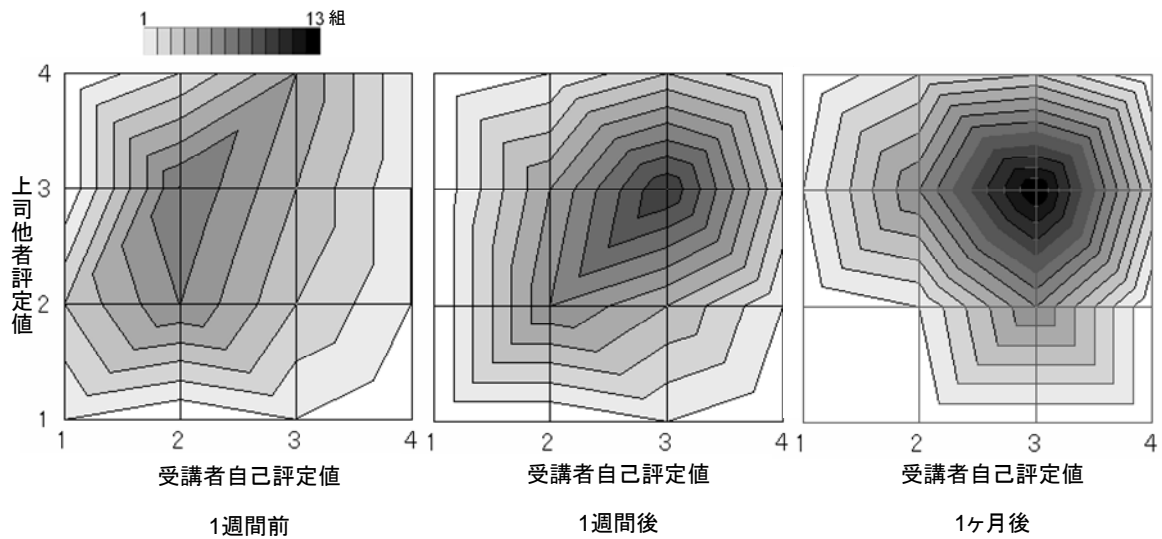


図 3-3 業務遂行能力の上司による他者評価と受講者による自己評価の評定値を対とした組数（いずれも $N = 35$ ）

認められる。

要約すると、受講者の業務遂行能力に対する自己評価は、受講後 1 週間程度で高まるが、上司の評価は、受講者自身の評価よりも少なくとも 4 週間程度の遅れを示す。

2×3 の分散分析では、交互作用は確認できなかったが ($F(2,136) = 0.52$)、図 3-3 は上司と受講者の評価が高い値を示す時期にズレが生じる傾向を示す。そこで、教育受講後の上司と受講者の評価の時間的なズレを分析するため、教育受講 1 週間前のそれぞれの評定値を原点として、1 週間後と 4 週間後の業務遂行能力の評定値の差（修正評定値）を分析した（図 3-4）。

「評価主体（上司，受講者） \times 時期（1 週間後，4 週間後）」による 2×2 の混合計画による分散分析を実施した結果、主効果および交互作用は有意ではなかった ($F(1,68) = 2.06$; $F(1,68) = 1.99$)。

事前テストの得点による差異

上司が受講者の業務指導を的確に行うためには、上司と受講者（部下）による業務遂行能力の評価の違いを分析することが重要であると考えられる。技術力の高い受講者と低い受講者では、上司による業務遂行能力の評価が異なる可能性がある

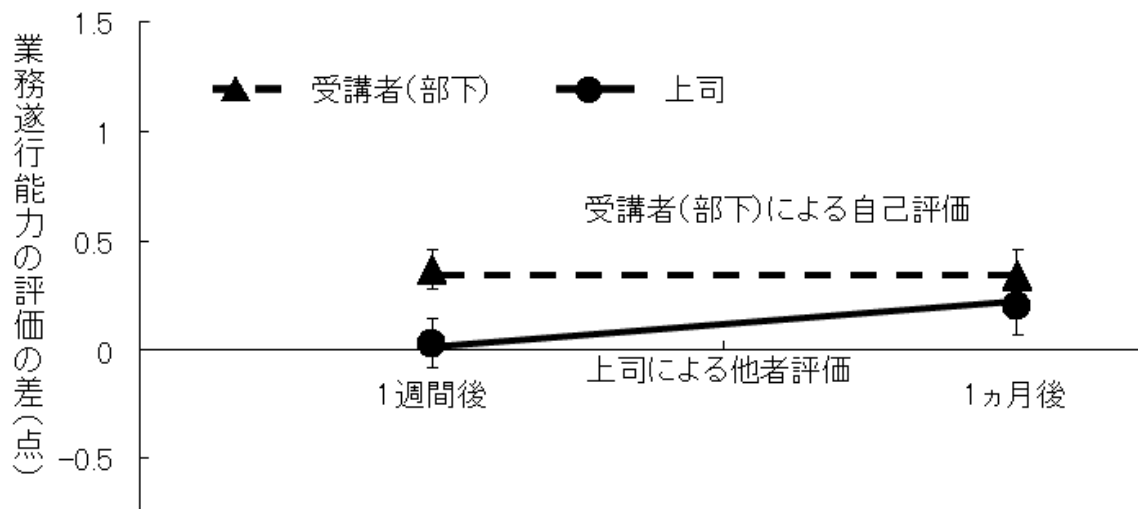


図 3-4 1 週間前を原点とした業務遂行能力の評定値推移（上司数 = 35，受講者数 = 35）。エラーバーは，標準誤差を示す。

ため，受講者を技術力により分類して分析を行う．C 言語によるプログラミングの能力を問う事前テストの得点は，ソフトウェアの製作工程に従事する受講者の教育受講前の技術力を客観的に示すと考え，事前テストの得点により受講者を 2 群に分け，業務遂行能力の評価を分析する．

図 3-5は，事前テストの得点の度数分布を示す．事前テストの点数が 5 点以下の受講者 8 名を教育前の技術力の低い受講者，15 点以上の受講者 9 名を高い受講者として，受講者および上司による受講者の業務遂行能力の評価を検討した．事前テストの点数が 10 点の受講者は，技術力が高いか低いかを判断できないため，本分析の対象とはしない．

図 3-6は，事前テストの成績が 5 点以下の受講者と 15 点以上の受講者において，上司と受講者のそれぞれの受講 1 週間前の評定値を原点として，1 週間後と 4 週間後の業務遂行能力の評定値の差を示す．技術力（5 点以下，15 点以上）× 評価主体（上司，受講者）× 時期（1 週間後，4 週間後）による $2 \times 2 \times 2$ の混合計画による分散分析を実施した結果，主効果および交互作用とも有意ではなかった（技術力の主効果 $F(1,30) = 1.80$ ，他はいずれも $F(1,30) < 1.0$ ）．

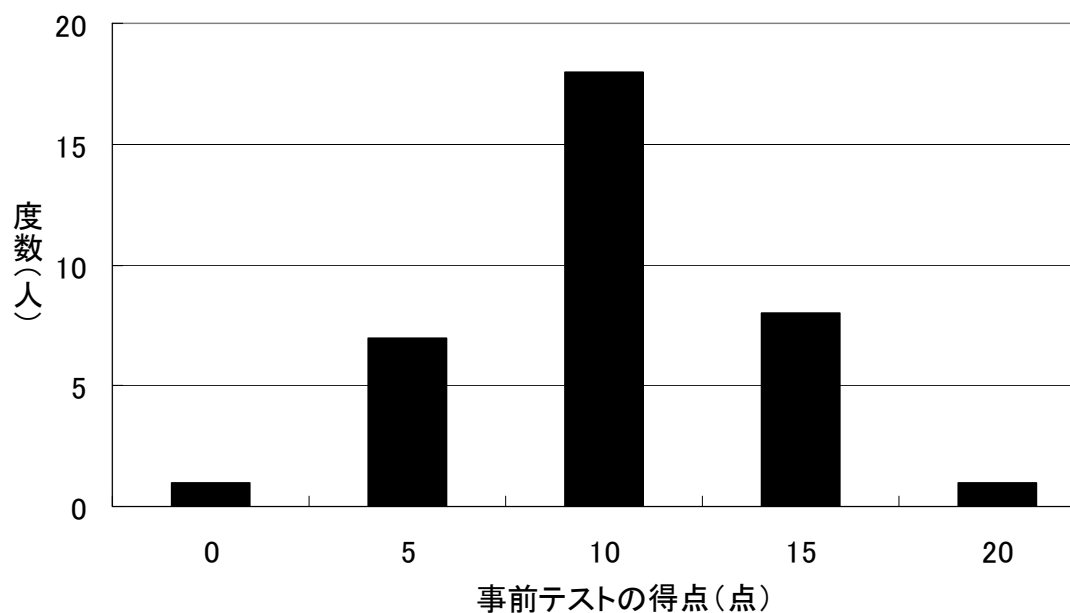


図 3-5 事前テスト得点の度数分布 (N=35).

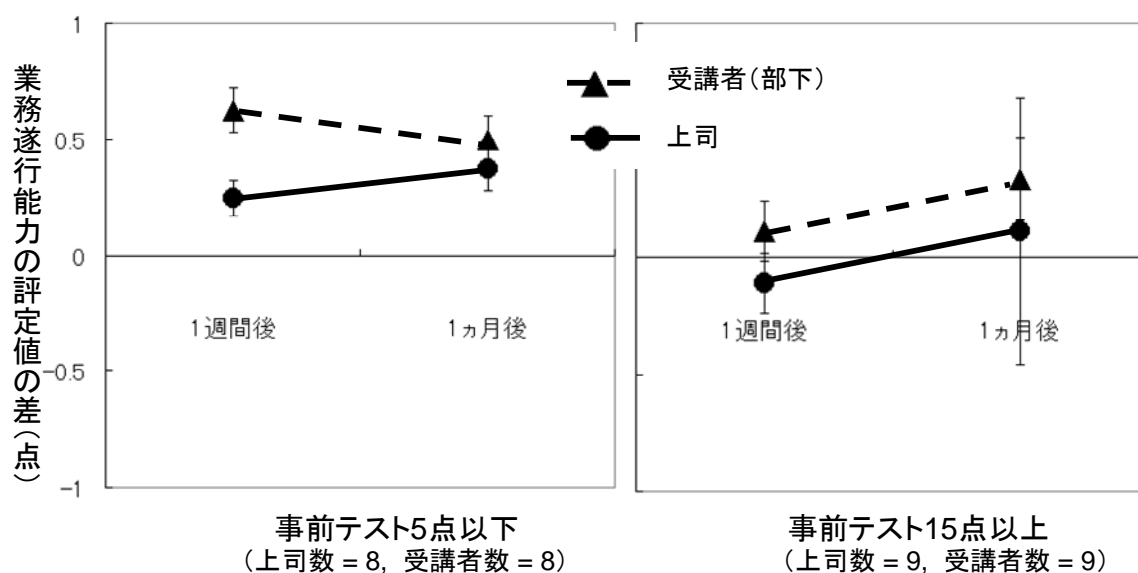


図 3-6 業務遂行能力の上司による他者評価と受講者による自己評価の関係 (事前テスト得点別). エラーバーは, 標準誤差を示す.

考察

本実験では、職業人教育コースの受講がソフトウェア技術者の業務遂行能力に与える効果を計測するために、受講の前後（1週間前、1週間後、4週間後）に受講者自身とその上司に対して、受講者の業務遂行能力を「総合的に」評定することを求めた。

評価主体（上司、受講者）× 時期（受講1週間前、1週間後、4週間後）による2×3の混合計画による分散分析の結果、上司および受講者とも、教育受講により受講者の業務遂行能力を、受講前よりも高く評価していることが確認された。本実験においては、上司と受講者における評価のズレが、両者が用いる評定値の時間的なズレによって生じる傾向は観察されたが、統計的に有意な差を得るには至っていない。そこで、受講に伴う教育効果の計測方法として、実験結果を採用するためには、実用的観点から、総合的な評定方法よりもより感度の高い評定方法が必要とされる。また、受講者とその上司の評定値が高い値を示す時期にズレが生じる過程については、理論的観点から、より詳細な検討を必要とする。

第1に、実験3-1では、受講者の業務遂行能力が、4肢選択法（4.そうだ、3.まあそうだ、2.ややちがう、1.ちがう）を用いて、総合的に評定されている。しかし、職業人の業務遂行能力は複数の技能から構成されるために、総合的な評価を行うのではなく、教育コースが育成目標とする特定の技能に呼応する個別質問項目によって、より精緻に評定されなければならない。

第2に、受講の前後における評定値の差を求めて、受講による業務遂行能力の高まりを論じている。しかし、純粋に受講による業務遂行能力の高まりを論じるためには、受講の影響を受けない時期での業務遂行能力の高まりがどの程度認められるのかを確認しておかなければならない。

そこで、2種類の目的を達成する新たな実験を行うことが必要である。第1の目的は、業務遂行能力の評定において受講者と上司が具体的に用いる評価項目を確認し、受講者と上司が受講者の業務遂行能力の評定に用いる項目間の重みづけに差がないことを確認することである。第2の目的は、受講者と上司で受講者の業務遂行能力に高い評定値を与える時期が、特定の項目でずれることを確認し、その生起機構に検討を加えることである。

3.3 調査 3-2（評価項目の抽出）

調査 3-2 では、受講者とその上司が業務遂行能力の推定に用いている具体的な評価項目を抽出するために、自由に想起し、記述することを求めた。

3.3.1 方法

対象

調査 3-2 での対象者は、初級クラスと中級クラスの教育コースの受講者 50 名（各々 30 名と 20 名）と彼らの直属の上司 50 名であり、合計 100 名が提供するデータを分析対象とした。

手続

初級クラスの受講者 30 名は、2007 年 5 月 24, 25, 31 日と、6 月 1 日の 4 日間に開催された「初級 1：組込みソフトウェア開発技術の基礎」コースに参加し、中級クラスの受講者 20 名は、2007 年 6 月 28, 29 日の 2 日間に開催された「中級 3：組込みリアルタイム OS とネットワークの基礎」コース⁷に参加した。

被調査者の課題は、「受講者の業務遂行能力を評価する際に観察している点」について、Web ページに用意された課題回答欄に自由記述形式によって 200 文字以内で記載することであった（付録 4 参照）。Web ページは、実験 3-1 と同様の手法を用い、盗聴と改ざんから保護した。被調査者による記述は、2007 年 9 月 12 日から 1 週間の期間内に行われた。

3.3.2 調査 3-2 の結果と考察

課題への回答者は、受講者 38 名と上司 31 名の合計 69 名であった。受講者 38

⁷ 第 2 章で開発した 4 日間コースである「中級 3：リアルタイム OS を用いたソフトウェア設計技術」の前半 2 日間だけを開催した。

名の内訳は、男性 35 名、女性 3 名であり、彼らの平均年齢は 28.6 歳であった。上司 31 名は全て男性であった。調査 3-2 のデータ分析は、69 名が提供したデータを対象として実施された。

各被調査者は、回答欄に 2 から 3 種類の項目を記述した。2 名の評定者が、被調査者間での重複項目を整理した結果、44 種類の項目に分類した。次に、2 名の評定者の合議により、12 種類 ($E_1 \sim E_{12}$) の評価項目 E_i (evaluation) を抽出した。12 種類の項目は、4 種類のカテゴリ（管理力、コミュニケーション力、技術力、行動力）に 3 項目ずつ配置された。表 3-1 は、4 種類のカテゴリに分類した 12 種類の項目を示す。

調査 3-2 の結果は、受講者とその上司が、組込みソフトウェア技術者の業務遂行能力を、4 種類のカテゴリに分類される 12 項目を用いて評価することを示す。

3.4 調査 3-3（評価項目の重要度）

調査 3-3 では、受講者とその上司が、受講者の業務遂行能力を推定する際に、同一の基準で評定を行っているか否かを検証するために、12 種類の評価項目に対する重要度の評定作業を求める。

3.4.1 方法

対象

調査 3-3 の対象者は、初級クラスの技術者向け教育コースの受講者 60 名と彼らの上司 60 名であり、合計 120 名が提供するデータを分析の対象とした。

手続

被調査者である受講者は、2006 年 11 月 30 日と、10 月 1, 7, 8 日の 4 日間と、2007 年 5 月 24, 25, 31 日と、6 月 1 日の 4 日間とに開催した「初級 1：組込みソフトウェア開発技術の基礎」コースへ参加した。

表 3-1 調査 3-2 で抽出された 12 種類の評価項目一覧.

| カテゴリ | 評価項目 |
|------------|---|
| 管理力 | E_1 : 品質（機能性, 信頼性, 使用性, 効率性, 保守性, 移植性）を管理する能力 |
| | E_2 : 費用を管理する能力 (例: 妥当な見積もりを立てる) |
| | E_3 : 時間を管理する能力 (例: スケジュールを守る) |
| コミュニケーション力 | E_4 : チームメンバーと共同作業を行う能力 (例: 繁忙時に作業を振り分ける) |
| | E_5 : 上司への報告連絡相談の頻度と質 (例: 論理立てた報告をする) |
| | E_6 : 顧客とコミュニケーションをとる能力 (例: 顧客の要求を的確に捉える) |
| 技術力 | E_7 : 担当業務を遂行する組込みソフトウェア開発技術力 (例: プログラミング力) |
| | E_8 : 担当業務を含む業務全体を捉える能力 (例: 業務内容を説明する) |
| | E_9 : 問題発見および問題解決を行う能力 (例: 問題点を切り出す) |
| 行動力 | E_{10} : 業務遂行に好ましい性格 (例: 積極的である) |
| | E_{11} : 責任感の強さ (例: 忙しさを理由に仕事を断らない) |
| | E_{12} : 自己の能力を伸ばす行動力 (例: 機会を見つけて勉強する) |

被調査者の受講者と上司の課題は、「受講者の業務遂行能力の評価時に項目 E_i をどの程度重要と考えるか」を、Web ページ上に表示される反応入力ボタンを用いて 5 肢選択法（1「重要ではない」から 5「重要である」）で回答することであった（付録 5 参照）。回答作業は 2007 年 10 月 5 日から 1 週間の期間内に行われ、課題回答に用いる Web ページは、実験 3-1 と同様の手法を用い、盗聴と改ざんから保護した。

表 3-2 評価項目 E_i の重要度に対する、受講者群 ($n = 27$) と上司群 ($n = 27$) の平均評定値と、両群の平均評定値 α_i .

| | E_1 | E_2 | E_3 | E_4 | E_5 | E_6 | E_7 | E_8 | E_9 | E_{10} | E_{11} | E_{12} |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| 受講者 | 4.81 | 3.41 | 4.48 | 4.41 | 4.52 | 3.96 | 4.37 | 4.22 | 4.56 | 4.07 | 4.33 | 4.41 |
| 上司 | 4.67 | 3.67 | 4.33 | 4.19 | 4.30 | 3.81 | 4.22 | 4.22 | 4.33 | 3.78 | 4.07 | 4.19 |
| α_i | 4.74 | 3.54 | 4.41 | 4.30 | 4.41 | 3.89 | 4.30 | 4.22 | 4.44 | 3.98 | 4.20 | 4.30 |

3.4.2 調査 3-3 の結果と考察

課題への回答者は、受講者と直属の上司を一对とする 27 組であった。受講者 27 名の内訳は、男性 26 名、女性 1 名であり、彼らの平均年齢は 26.5 歳であった。上司 27 名は全て男性であった。実験 3-3 のデータ分析は、27 組が提供した評定値（1「重要ではない」から 5「重要である」）を対象として実施された。

表 3-2は、 E_i の重要度を示し、上段は受講者群と上司群における項目 E_i ごとの平均評定値を表わす。両評定値のケンドールの一致係数を求めたところ、有意な相関が認められた ($\tau = .765$, $p < .01$)。

調査 3-3 の結果は、受講者と上司の両群が異なる基準で評定を行っているのではないことを示す。そこで、受講者と上司の平均評定値 α_i を評価基準の重みとする。表 3-2の下段は、 α_i の値を示す。

各項目 E_i の評定値は、評価主体 H (human) と評定時期 T_j (time) により異なることが想定されるので、 $f(H, T_j, E_i)$ として表記する。そして、 α_i と E_i の評定値 $f(H, T_j, E_i)$ を積和し、評価対象者の業務遂行能力の評定値 BE (business evaluation) とする（式 (3-1)）。

$$BE(H, T_j) = \sum_{i=1}^{12} \alpha_i * f(H, T_j, E_i) \quad (3-1)$$

3.5 実験 3-4-1（教育受講期間における受講者と上司の評定）

実験 3-4-1 では、受講者と上司で受講者の業務遂行能力に高い評定値を与える時期が、調査 3-2 で選定した特定の項目でずれるか否かを検証するために、新たな受講者群とその上司群に教育受講の 1 週間前と 1 週間後、さらに 4 週間後に評定課題を与えた。

3.5.1 方法

対象

実験 3-4-1 での被験者は、初級クラスの技術者向けの「初級 1：組込みソフトウェア開発技術の基礎」コースを 2007 年 10 月 25、26 日と、11 月 1、2 日の 4 日間に受講した受講者と直属の上司からなる 30 組、合計 60 名であり、彼らが提供するデータを分析の対象とした。

手続

被験者の課題は、受講者の業務遂行能力を項目 E_i の別に評定することであり、具体的には、Web ページ上に表示される反応入力ボタンを用いて 7 肢選択法（1「低い」から 7「高い」）で回答することであった。実験 3-1 では、4 肢選択法により評定値を求めたが、実験 3-4-1 では評定値の変化をより精緻に検討するために 7 肢選択とした（付録 6 参照）。

課題は、教育が始まる 2007 年 10 月 25 日の 1 週間前、教育が終了する 2007 年 11 月 2 日の 1 週間後、そして 4 週間後の計 3 回にわたり実施された。課題回答に用いる Web ページは、実験 3-1 と同様の手法を用い、盗聴と改ざんから保護した。

3.5.2 実験 3-4-1 の結果と考察

結果

実施した全 3 回の課題に対する回答がすべて得られた者は、受講者と直属の上司 16 組であった。受講者と上司は全て男性あり、受講者の平均年齢は 27.9 歳であった。実験 3-4-1 のデータ分析は、16 組が提供した 32 名のデータを対象として実施

された。

図 3-7は、受講者群における評定値 $f(H, T_j, E_i)$ の平均を、12 種類の評価項目 E_i 毎に、3 種類の評定期（受講前後の 1 週間と、受講の 4 週間後）別に示す。各 E_i における“-1”は受講 1 週間前を、“1”は 1 週間後を、“4”は 4 週間後を表す。同様に、図 3-8は、上司群における平均評定値を示す。

受講者群と上司群の評定値は、 E_2 （費用管理）、 E_7 （技術力）、 E_{12} （成長）のそれぞれにおいて興味深い対比を示す（図 3-7と図 3-8参照）。まず、 E_2 は費用を管理する技能を評価する項目であり、受講者群と上司群において、この評定値が、他の全項目の評定値よりも低い。このことは、コースの受講対象者が設計とコーディングを主な職務とする初級クラスの技術者であり、費用管理の業務を行わないことを勘案すると、評定作業全般が適切に行われたことの証左と見なされる。

次に、 E_7 は担当業務を遂行する技術力を評価する項目であり、受講者群は、受講 1 週間前に比べ 1 週間後に、上司群は、4 週間後に評定値が高くなる傾向を示す。

他方、 E_{12} は自己の能力を伸ばす行動力を示す項目であり、受講者群では受講後に評定値が高まるが、上司群では逆に低くなる傾向を示す。図 3-9は、受講者群と上司群における E_7 と E_{12} の平均評定値の推移を重ねて示す。

そこで、3 回の評定期における 12 項目の評定値の変化を、受講者群と上司群の別に検討するために、評定期（3）× 評価項目（12）からなる 2 要因の分散分析を実施した。

受講者群においては、評価項目の主効果のみが有意であった ($F(11, 165) = 4.88$, $p < .01$)。評定期と評価項目との交互作用は、有意傾向があった ($F(22, 330) = 1.51$, $p < .10$)。交互作用に有意傾向が認められたので、単純主効果の検定を行った。

その結果、評定期の効果は、評価項目 E_7 と E_{12} でのみ有意であった ($F(2, 30) = 7.05$, $p < .01$; $F(2, 30) = 4.03$, $p < .05$)。LSD 法を用いた多重比較によれば、評価項目 E_7 における受講 1 週間後と 4 週間後の評定値平均が、1 週間前の値よりも有意に高かった ($MSe = 0.39$, $ps < .05$)。評価項目 E_{12} においては、受講 4 週間後の評定値平均が、1 週間前の値よりも有意に高かった ($MSe = 0.32$, $p < .05$)。

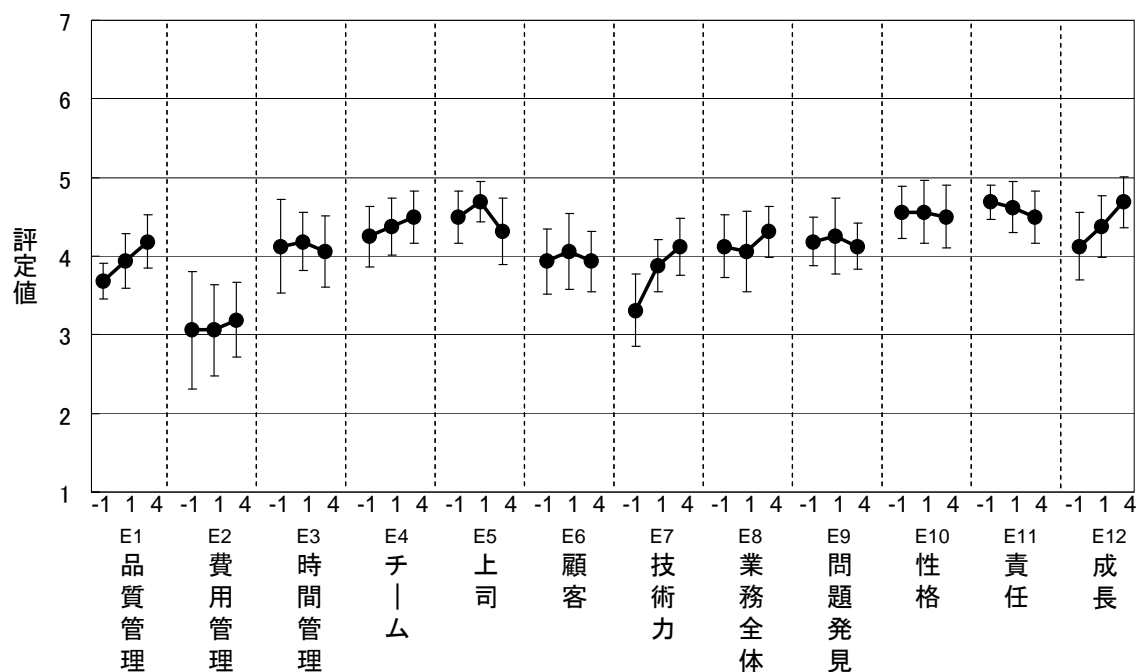


図 3-7 受講者群 ($N = 16$) による教育受講 1 週間前 (-1), 1 週間後 (1), 4 週間後 (4) における各評価項目に対する平均評定値と標準誤差.

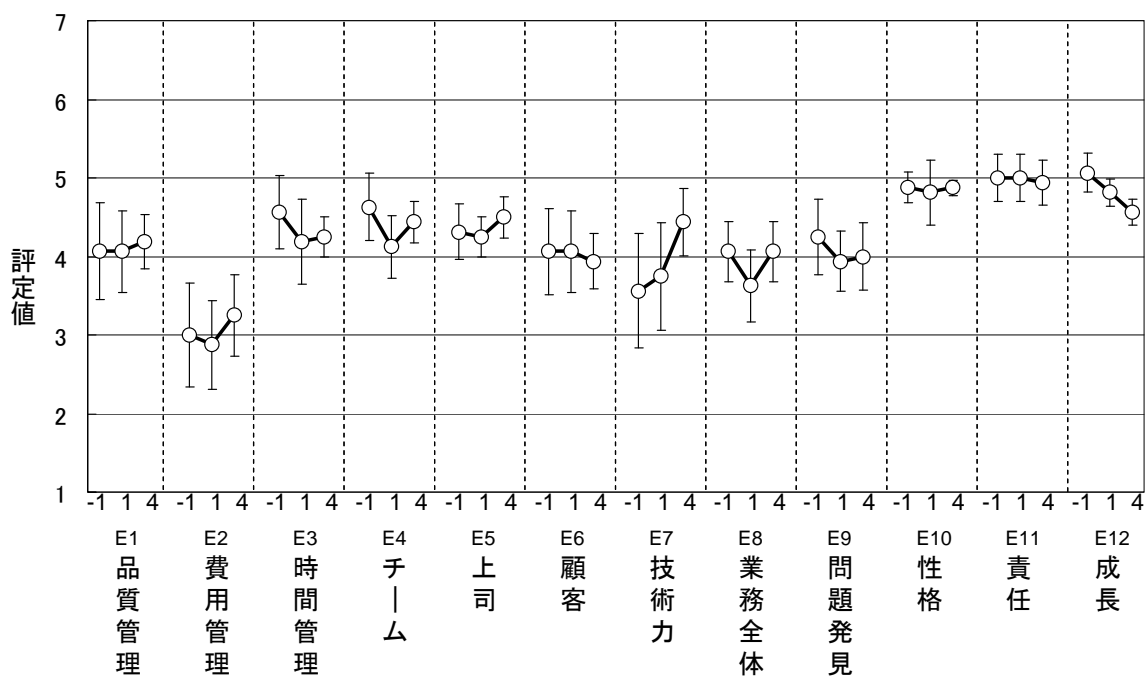


図 3-8 上司群 ($N = 16$) による教育受講 1 週間前 (-1), 1 週間後 (1), 4 週間後 (4) における各評価項目に対する平均評定値と標準誤差.

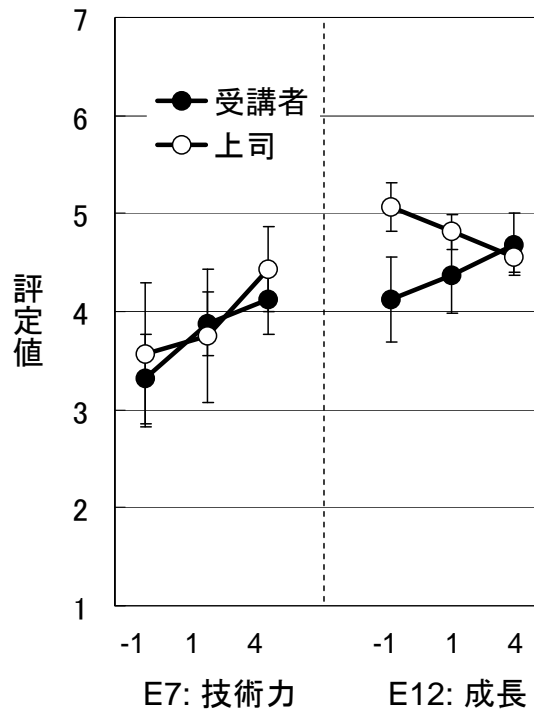


図 3-9 受講者群 ($N=16$) と上司群 ($N=16$) による教育受講 1 週間前 (-1), 1 週間後 (1), 4 週間後 (4) における評価項目 E_7 と E_{12} の平均評定値と標準誤差.

他方, 評価項目は, 各評定時期において有意であった ($F(11, 165) = 4.17, p < .01$; $F(11, 165) = 4.02, p < .01$; $F(11, 165) = 3.60, p < .01$). LSD 法を用いた多重比較の結果, 評価項目 E_2 の各評定時期における評定値の平均は, 受講 1 週間前では E_1 と E_7 の評定値に差が認められないことを除き, 全ての時期において他の評価項目よりも有意に低かった (1 週間前: $MSe = 0.91, p < .05$; 1 週間後: $MSe = 0.76, p < .05$; 4 週間後: $MSe = 0.67, p < .05$).

上司群に対する分析においても, 受講者群と同様に評価項目の主効果のみが有意であった ($F(11, 165) = 8.66, p < .01$). 評定時期と評価項目との交互作用にも, 有意傾向があった ($F(22, 330) = 1.50, p < .10$). 交互作用に有意傾向が認められたので, 単純主効果の検定を行った.

その結果, 評定時期は, 評価項目 E_7 水準でのみ有意であった ($F(2, 30) = 11.93, p < .01$). LSD 法を用いた多重比較によれば, 評価項目 E_7 における受講 4 週間後

の評定値平均が、1週間前と1週間後の値よりも有意に高かった ($MSe = 0.28$, $ps < .05$).

他方、評価項目は、各評定時期において有意であった ($F(11, 165) = 6.31$, $p < .01$; $F(11, 165) = 6.89$, $p < .01$; $F(11, 165) = 4.98$, $p < .01$). LSD法を用いた多重比較の結果、評価項目 E_2 の各評定時期における評定値の平均は、受講1週間前では E_7 の評定値に差が認められないことを除き、全ての時期において他の評価項目よりも有意に低かった (1週間前: $MSe = 0.92$, $p < .05$; 1週間後: $MSe = 0.79$, $p < .05$; 4週間後: $MSe = 0.67$, $p < .05$).

考察

受講者群と上司群において、費用管理技能の評価項目 (E_2) の評定値が、他の項目の評定値よりも有意に低いことが確認された。このことは、コースの受講対象者が費用管理の業務を行わないためであり、評定作業全般が適切に行われたことを示唆する。

受講者群では、担当業務を遂行する技術力 (E_7) の評定値は、受講の1週間前に比べ1週間後に直ちに高い値を示し、その値は4週間後も保持され、結果的に1週間後と4週間後には差が認められなかった。これに対して、上司群では、受講1週間前と1週間後には評定値に差が認められず、4週間後に高い値を示すことが確認された。すなわち、受講者群の自己評価による評定値は、受講1週間後に直ちに高まり4週間後もその値を持続するが、上司群による他者評価の評定値が高い値を示すのは、受講4週間後である。

他方、自己の能力を伸ばす行動力 (E_{12}) に対する評定において、受講者群が、受講1週間前よりも4週間後に高い値を示したのに対して、上司群は同様の反応傾向を示さず、統計的には有意ではなかったが、むしろ逆に4週間後に低い値を示した。

実験3-4-1の受講者が受講したコースは、担当業務を遂行する技術力 (E_7) を高めることを教育目標としており、 E_7 に対する評定値が受講後に高まることは、コースの受講者に教育効果が生じたことを示唆する。しかし、受講者群は、コースが育成目標としない自己の能力を伸ばす行動力 (E_{12}) の評価においても、高い値を示した。

職業人は、教育受講だけではなく、業務遂行を通じても種々の技能を高めるために、 E_7 と E_{12} の評定値の高まりは、純粋に教育効果によるものか、あるいは業務遂行に伴うものかが、峻別されなければならない。そこで、同一の被験者に対して、教育を受講しない期間に実験3-4-1と同一の調査票に対する回答を求め、実験3-4-2として実施した。

3.6 実験3-4-2（受講しない期間における受講者と上司の評定）

実験3-4-2では、実験3-4-1で確認された E_7 と E_{12} に対する評定値の上昇が教育受講により生じることを確認するために、実験3-4-1に参加した受講者とその上司に対して実験3-4-1から20週間後の教育を受講しない期間に E_i の評定値を求めた。

3.6.1 方法

対象

実験3-4-2での対象は、実験3-4-1と同一の被験者群であり、彼らが提供するデータを分析の対象とした。

手続

被験者の課題は、実験3-4-1と同一であった（付録6参照）。課題は、NEXCESSによる教育が行われておらず、かつ、2週間にわたり4日間の教育を行った実験3-4-1と同じ評定時期の間隔で与えられた。具体的には、2008年3月3日（ T_1 ）を受講1週間前と見なし、3月24日（ T_1 ）と4月14日（ T_4 ）を、それぞれ受講1週間後と4週間後と見なし、合計3回の評定課題が実施された。課題の回答に用いるWebページは、実験3-4-1と同じ手法を用い、盗聴と改ざんから保護した。

3.6.2 実験3-4-1の結果と考察

結果

実施した3回の全ての課題に対して回答が得られた者は、受講者と直属の上司

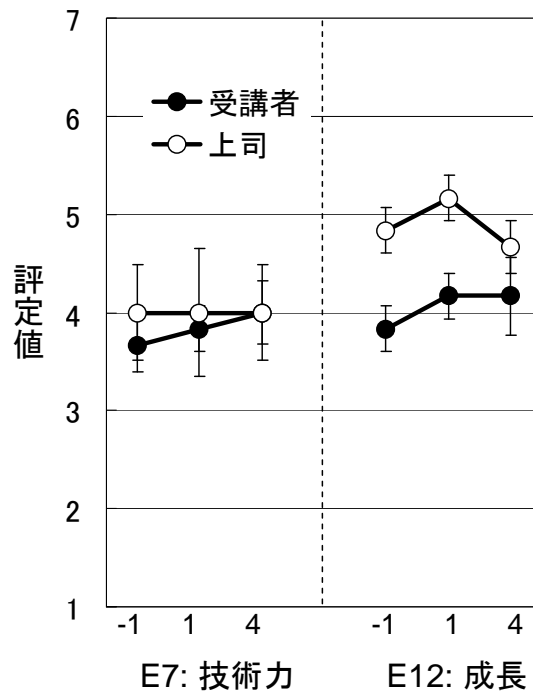


図 3-10 受講者群 ($N=6$) と上司群 ($N=6$) による教育を受講しない期間における評価項目 E_7 と E_{12} の平均評定値と標準誤差.

6 組であった。受講者と上司は、全て男性であり、受講者の平均年齢は 29.7 歳であった。本実験のデータ分析は、6 組が提供した 12 名のデータを対象として実施された。図 3-10 は、 E_7 と E_{12} における平均評定値を、受講者と上司の別に示す。

教育を行わない時期においても実験 3-4-1 と同様に評価項目 E_7 と E_{12} に対する評定値が変動するか否かを確認するために、評価項目 E_7 に対して、受講者群においては、受講 1 週間前に相当する T_{-1} と 1 週間後に相当する T_1 における評定値の差 (1) と、 T_{-1} と 4 週間後に相当する T_4 における評定値の差 (2) とを検定し、上司群においては、 T_{-1} と T_4 における評定値の差 (3) を検定した。他方、評価項目 E_{12} に対しては、受講者群の T_{-1} と T_4 の評定値の差 (4) を検定した。ウィルコクソンの符号付き順位和検定を行った結果、いずれも有意差が無かった ((1): $Z(6) = 0.54$, n.s.; (2): $Z(6) = 1.34$, n.s.; (3): $Z(6) = 1.00$, n.s.; (4): $Z(6) = 0.91$, n.s.)。

考察

実験 3-4-1 では分散分析により検定を行ったが、実験 3-4-2 ではデータ数が少なくウィルコクソンの符号付順位和検定を行った。検定方法の違いにより検定力が異なるが、教育コースを受講せずに業務を遂行するだけでは、実験 3-4-1 で確認された E_7 と E_{12} の教育受講後における評定値の高まりは生起しないことが実験 3-4-2 において確認された。このことは、実験 3-4-1 における E_7 と E_{12} の評定値の高まりが、教育受講による効果であり、業務遂行能力の評定が、教育効果の計測に有効であることを示唆する。

3.7 第 3 章の結論

自己評価と他者評価のズレ

本章の目的は、第 2 章で開発した ESTEC を使用した職業人向けの教育に対して、受講者の自己評価と彼ら直属の上司の他者評価を行い、両者の評定値に差異が生じるのか、生じるならばどのような差異が生じるかについて明らかにすることであった。この目的を達成するために、5 種類の実験と調査（実験 3-1, 調査 3-2, 調査 3-3, 実験 3-4-1, 実験 3-4-2）を行った。

実験 3-1 は、受講者の自己評価と上司の他者評価における差異を確認するために行われた。被験者は、初級クラスのエステティックコースに参加した職業人受講者とその上司であり、彼らの課題は、教育受講の 1 週間前と 1 週間後と 4 週間後に、4 肢選択法により受講者の業務遂行能力の総合評価を与えることであった。実験の結果、受講者と上司が共に受講前よりも受講後に高い評定値を示すことが確認された。統計的には有意ではなかったが、受講者の自己評価は 1 週間後に、上司の他者評価は 4 週間後に高い値を示す傾向が認められた。

実験 3-1 では、受講者の業務遂行能力を総合的な評定方法により計測した。しかし、どの技能が受講により育成されたかを求めるためには、特定の技能に呼応する個別質問項目によって、より精緻に受講者の技能を評定しなければならない。さらに、純粋に受講による業務遂行能力の高まりを論じるために、受講の影響を

受けない時期での業務遂行能力の高まりが、どの程度認められるかを確認する必要がある。そのために、調査 3-2, 3-3 と、実験 3-4-1, 3-4-2 が行われた。

調査 3-2 では、業務遂行能力の評価項目を求めた結果、教育効果の計測に用いる個別の業務遂行能力に対する 12 種類の評価項目を抽出した。

調査 3-3 では、受講者と上司が同一の基準で評価を行っているか否かを検証するために、両者の評価値を比較した結果、12 種類の評価項目に対する重要度が受講者と上司の群間で一致した。このことは、両者は異なる基準で評価を実施しているのではないことを示す。

実験 3-4-1 では、教育期間内に受講者の自己評価と上司の他者評価を求めた結果、技術力の評価項目 (E_7) と、自己の能力を伸ばす行動力の評価項目 (E_{12}) に関して、両者の評価値が教育受講後に高くなることを確認した。しかし、評価値が高くなる時期は受講者と上司でずれており、 E_7 に対しては、受講者は受講 1 週間後に直ちに高い評価値を示すが上司は 4 週間後に高い値を示した。他方、 E_{12} に対しては、受講者のみが 4 週間後に高い値を示した。

実験 3-4-2 では、教育を受講しない期間内に、受講者の自己評価と上司の他者評価を求めた結果、実験 3-4-1 で変化が確認された E_7 と E_{12} に対して、変化しないことを確認した。この結果は、これらの評価項目に対して実験 3-4-1 で確認された評価値の高まりは、教育効果により生起したことを示唆する。

これらの結果から、ESTEC の受講により、受講者の業務遂行能力は、教育が育成目的とする評価項目に対して、受講者の自己評価は受講 1 週間後に、上司の他者評価は 4 週間後に高い評価値を示すことが確認された。

ESTEC における教育効果の計測式

実験 3-4-1 から、教育コースが育成目標とする評価項目に対して、受講者による自己評価は受講 1 週間後に高い値を示し 4 週間後も継続し、上司による他者評価は 4 週間後に高い値を示すことが確認された。

したがって、ESTEC に対する行動水準の教育評価を、教育の受講者に生じる業務遂行能力の変化量として行うには、上司による評価が遅れる傾向を勘案することが求められる。すなわち、教育の受講に伴う受講者の変化を評価主体の差異に関わらず評価するためには、自己評価と他者評価が共に変化する受講 4 週間後ま

で待つて行うことが提案される．そこで，受講1週間前の時期を T_{-1} とし，受講4週間後の時期を T_4 とすると，評価主体 H による教育効果 $EE(H)$ の評価式は式(3-2)となる．

$$\begin{aligned} EE(H) &= BE(H, T_4) - BE(H, T_{-1}) \\ &= \sum_{i=1}^{12} \alpha_i (f(H, T_4, E_i) - f(H, T_{-1}, E_i)) \end{aligned} \quad (3-2)$$

式(3-2)では全評価項目 E_i の評定値を用いるが，実験3-4-1は，選択すべき評価項目は，教育コースがいずれの評価項目を育成目標とするかに応じて変更可能であることを示唆する．すなわち，教育コースが育成目標としない評価項目 E_i は，式(3-2)に含める必要が無い．

そこで，教育効果の計測のために選択した評価項目を E_j とすると，教育効果の計測式(3-3)が提案される．

$$EE(H) = \sum_j \alpha_j (f(H, T_4, E_j) - f(H, T_{-1}, E_j)) \quad (3-3)$$

教育コースが育成目標とする評価項目の以外において受講後に評定値が高くなることは，教育の波及効果であることが示唆される．教育効果を，教育の波及効果を含めて評価する場合は，評定値が，受講者の自己評価でのみ高く，上司の他者評価では変化しないことを実験3-4-1において確認したために，計測式には更なる検討が必要である．

ESTECにおいて，受講者とその上司の評定値が高い値を示す時期にズレが生じる現象が確認された．この現象が異なる職種の社会人教育においても生起する可能性は，次章の総合考察で検討する．

第 4 章 総合考察

本研究の目的は、職業人に対する教育における透明性の高い行動水準の教育評価手法を構築するために、組込みソフトウェア技術者教育を実践例として用いて、受講者による自己評価と上司による他者評価の特性を検討することであった。この目的を達成するために、本論文では次の 2 種類の研究を行った。第 1 に、ESTEC（組込みソフトウェア技術者教育カリキュラム）を作成し、その妥当性を客観的に評価した。第 2 に、構築した ESTEC を用いて職業人を受講者とした教育を実践し、受講者の自己評価と上司の他者評価の特性を検討した。

以下では、まず、本研究において作成した ESTEC と妥当性の評価を論じる。次に、受講者の自己評価と上司の他者評価に差異をもたらす評価モデルについて論じる。

4.1 技術者教育の開発の総合考察

本論文の第 2 章の目的は、ESTEC を開発し教育を実施し、そして ESTEC の妥当性を評価することであった。

4.1.1 カリキュラム開発

組込みソフトウェア技術はその歴史が浅く、わが国の学校では教育カリキュラムの整備が行われている段階である（経済産業省商務情報政策局，2006）。他方、企業の開発現場では、不足する組込みソフトウェア技術者の人員数の増加と質的な向上を行うために、職種転換や技術と技能を向上させる職業人教育が必要とされている。そこで、IPA/SEC（2005）は、わが国の組込みソフトウェア開発力強化を目的として、技術者が必要とする技術と技能の水準を定め、人材養成の規範となる情報として ETSS（組込みスキル標準）を提供した。

ETSS では、技術者の技術レベルを最大 7 種類に分類し、また職種を 10 種類に

分類し、提供している。本研究では、技術レベルと職種を共に 3 種類に集約し、それらを組み合わせて 4 種類の受講クラスを構成し、受講クラス毎に教育コースを作成した。

具体的には、技術レベルは、初級と中級と上級技術レベルの 3 種類に分けられ、他方、職種は、一般技術職と専門職と管理職の 3 種類で構成された。3 種類の技術レベルと 3 種類の職種の組み合わせは、合計 9 通りが考えられるが、本研究では、技術レベルと職種の組み合わせを、「初級レベルと一般技術職」、「中級レベルと一般技術職」、「上級レベルと管理職」、そして「上級レベルと指導者」の 4 種類に限定した。一般技術職には上級レベルを設けなかったのは、会社の事業推進に積極的な寄与をする技術力を持つ上級レベルの技術者が、一般技術職として生産活動へ直接的に従事せずに、管理職あるいは指導職としての職務を果たすことを求められるためである。さらに、管理職と指導職に、初級と中級レベルを設けなかったのは、それらの職責では、事業推進に寄与し得る上級レベルの技術力を求められるためである。

教育コースの育成項目は、受講クラスの技術者が開発現場で必要とされる技術と技能で構成した。本研究で作成された教育コースは、初級クラスには 1 種類、中級には 2 種類、上級には 5 種類の合計 8 種類であった。上級クラスに最も多くの教育コースを設定したのは、このクラスの技術者が異なる専門性を有し、自らの専門技術ごとの教育を必要とするためである。他方、初級と中級クラスでは、生産工程における総合的な技術力を養成する共通の教育コースを作成したために、コースの種類を少なくした。各コースにはプログラミング演習を含む演習を作成し、開発現場で使用し得る技能の養成を図った。

4.1.2 カリキュラム評価

総合的評価

調査 2-1 は、開発した ESTEC の総合的な評価を目的として行われた。

適用した教育の実態を把握するために、2004 年 11 月から 2005 年 10 月にかけての 1 年間に、職業人に対して教育コースを、初級クラスでは 4 回、中級クラス

では3回、上級クラスでは9回の、全16回を開催した。受講申込者には申し込み時に年齢や所属企業などの申告を求め、受講者にはコースの総合評価などを5肢選択法（1「無い・悪い」から5「有る・良い」）で評定させる課題を課した。その結果、クラスにおける受講申込者の年齢平均は本研究の設計とほぼ一致した。他方、受講者の総合評価は、全ての教育コースで1から5点の尺度において4以上であることを確認した。

業務適用度の評定値を分析すると、上級コースの評価が初級と中級コースに比較して低いことを確認した。これら上級コース受講者の質問票における自由記述欄の回答分析から、専門的な技術の理解に困惑する受講者と、専門技術と開発現場の業務との間に関係性を見出せない受講者の存在が確認された。

次に、理解容易性に対する評価を分析すると、評定値の平均は、1種類のコースを除き総合評価の評定値平均よりも低い値を示した。理解容易性に低い評定値を与えた受講者は、質問票への回答分析から、演習問題を正答し得ない経験を通じて、技能の不足に気づく傾向が確認された。

調査2-1において、ESTECの受講クラスの平均年齢が設計とほぼ一致したことは、技術レベルと職種を用いた受講クラス分類の妥当性を示唆する。また、各教育コースが受講者から一定の高い総合評価を得られたことは、さらなる教育コースの作成を本研究と同一の手法で行い得ることを示唆する。このことは、部分的とはいえ教育コースの作成に適用したETSSの有効性も同時に示唆する。

他方、業務適用度の評価が上級コースにおいて、他のコースよりも低い値を示したことは、受講者が上級コースの受講に必要な基礎的な技術をもたないことが一因であると考えられる。専門技術職を育成する上級コースの受講に適する受講者を確保するためには、受講申込者の技術力を受講前に評価し、一定の水準に到達した申込者にのみ受講許可を与える手順をESTECに定めることが提案される。ただし、上級レベルの技術者の不足率の平均は48%であり、初級と中級レベルの不足率26%と37%よりも高く（経済産業省商務情報政策局，2008）、不足する上級レベル技術者の育成教育において、受講者数を過度に減少させないために、受講者を選定する事前的評価の基準を適正に保つ必要がある。さらに業務適用度の評価を高めるためには、教育の提供側において、専門性が高い技術を平易に説明することと、専門技術の開発現場への適用に関する事例研究を受講者に指導する試

みが求められる。

また、組込みソフトウェア教育ではプログラミング演習の有効性が指摘されてきたが、本研究において、プログラミング演習には自己の技能の不足に直接的に気づくはたらきがあることが確認された。受講者は、その結果としてさらなる技能の取得へ取り組むことが示唆され、組込みソフトウェア教育におけるプログラミング演習の有効性が再確認された。今後の教育カリキュラム開発における演習を充実させる取り組みが期待される。

プログラミング演習評価

実験 2-2 は、プログラミング演習における教育の実態を把握するために行われた。実験用に開発されたキー操作を記録するシステムを用いて、受講者のプログラミング演習中のキー操作回数を計測した。

まず、受講者を演習課題の正答者と誤答者に分けてキー操作回数の平均を求めたところ、両者の平均キー操作回数に有意な差がないことを確認した。次に、演習時間内におけるキー操作回数によって受講者を 3 群（回数の昇順に L, M, H 入力群）に分類し、各群における演習の正答者に基づいて、群別の正答率を求めたところ、H 入力群が 83%であり、M 入力群と L 入力群が共に 50%であった。これらの結果から、キー操作回数が多い受講者は正答する割合が高いが、正答者であるからキー操作回数が多いわけではないことが確認された。

次に、キー操作の停止時間に着目すると、受講者は、講義資料を読み返すと共に、自身の書いたプログラムの問題点の分析を行うことが、質問票への回答から確認された。演習に誤答する受講者は、H 入力群に比べて、M と L 入力群に多く存在するが、彼らは資料調査などに時間を要し、キー操作が停止している時間が長いと考えられる。実験 2-2 のこれらの結果は、演習プログラムを完成し得ない受講者は、キー操作の総数ではなく、キー操作を停止する時間長に着目することにより、検出されることを示唆する。

プログラミング演習中のキー操作に注目する研究（中村・赤松・桑原・玉城，2002）では、java 言語プログラムの穴埋め問題を対象として、キーの操作時間を用いて受講者の行き詰まりを検知する試みがされている。中村他（2002）は、受講者は行き詰まる前に、通常時よりもキーの操作時間間隔が長くなり、操作時間

間隔の分散が大きくなる傾向を確認している。

本研究の演習課題は、200 行程度の完結した C 言語の組込みプログラム作成を求めており、穴埋め問題よりも難度が高い。本研究において演習プログラムを完成し得ない受講者は、キー操作を停止する時間が長いことが示唆される。中村他（2002）の研究とあわせて考えると、穴埋めではなくプログラム全体を作成する演習においても、キー操作を停止する時間長あるいはその変化に着目することで、受講者の行き詰まりを検知し得ると考えられる。

すなわち、講師は、正答に到達することなく、キー操作が遅延した受講者に対して、適切な指導を与え得るならば、当該受講者の教育効果が高められる。しかし、講師に比べて受講者数が多い教室において、講師は全ての受講者のキー操作停止時間を監視することが困難である。そこで、キー操作停止時間に基づく個別指導を行うには、たとえば、あらかじめ定められた停止時間を越えた受講者を自動的に抽出し、講師へ報告する機能を備えた講師支援システムの開発が期待される。

4.2 受講者と上司による教育評価の総合考察

第 3 章の目的は、第 2 章で開発した ESTEC を実施し、受講者の自己評価と上司の他者評価を行い、両評価の特性を検討することであり、次の 5 種類の実験と調査が行われた。

実験 3-1 では、受講者の自己評価と上司の他者評価における差異を確認した。

調査 3-2 では、業務遂行能力の評価項目を求めた。

調査 3-3 では、受講者と上司が同一の基準で評定を行っていることを検証した。

実験 3-4-1 では、教育期間内に受講者の自己評価と上司の他者評価を行った。

実験 3-4-2 では、実験 3-4-1 に参加した同一の受講者と上司に、教育を受講しない期間内に、実験 3-4-1 と同様の自己評価と他者評価を求めた。

予備実験

実験 3-1 では、受講者に対して組込みプログラミング能力テストと、受講者本

人と直属の上司に対して、教育受講の前後にわたり受講者の仕事を遂行する能力の総合的な評価を行った。その結果、受講者と上司の評価値は、いずれも受講前よりも受講後に高まることが確認され、そのピーク値の出現時期が異なる傾向を示すことが認められた。すなわち、自己評価では受講 1 週間後に直ちに評価値が高まるが、他者評価では 4 週間後に高まる傾向が認められた。

評価項目

調査 3-2 は、実験 3-1 とは異なる受講者本人と直属の上司に対して、業務遂行能力の評価において用いる評価項目の回答を求めた。その結果、被調査者の列挙した評価項目から 12 種類の評価項目を抽出した。

調査 3-3 は、調査 3-2 とは異なる受講者本人と直属の上司に対して、12 種類の評価項目に対して一つずつ、業務遂行能力としての重要度の評価を求めた。実験結果は、両者が異なる基準で評価を実施しているのではないことを示す。

以上の分析結果から、組込みソフトウェア技術者の開発現場における業務遂行能力に対する評価項目が明らかにされた。

自己評価と他者評価

実験 3-4-1 では、調査 3-2 で抽出した 12 種類の評価項目に対して、教育の受講 1 週間前と 1 週間後と 4 週間後に、受講者の業務遂行能力の評価値を求める課題を課した。実験結果から、技術力を評価する評価項目 (E_7) と、成長を評価する評価項目 (E_{12}) に関して、教育受講後に高い評価値を示すことを確認した。しかし、その時期は受講者と上司でずれており、 E_7 に対する評価では、受講者は受講 1 週間後に直ちに高い評価値を示すが、上司は 4 週間後に高い値を示すことが確認された。他方 E_{12} に対する評価では、受講者のみが 4 週間後に高い値を示すことが確認された。

実験 3-4-2 は、実験 3-4-1 と同じ被験者に対して、教育を行わない期間に実験 3-4-1 と同一間隔で 3 回にわたり評価値を求める課題を課した。この実験 3-4-2 の結果から、実験 3-4-1 で確認された高い評価値が教育効果により生起したことが確認された。

これらの実験結果から、教育コースが育成目標とする評価項目に対する受講者

と上司の評価は、受講者は受講 1 週間後に、上司は 4 週間後に高い値を示すことが確認された。すなわち、本研究では、両者の評価における時間特性、つまり評定者による評価の発現時期の差違が確認された。

評価特性と教育評価

受講者の行動水準に対する教育評価は、受講後 6 ヶ月までを目処とした適切な時期に行うことが推奨されているが (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006; 小松, 2000), その時期は明確には指定されていない。さらに、行動水準の教育評価は評価主体の主観に基づいて行われる傾向があり、受講者は自己評価を、上司は他者評価を行う。Taylor and Brown (1988) は、自己評価において、自分を高く評価するように情報や出来事を解釈する傾向を報告している。他方、他者評価において、Hamilton and Zanna (1971) は、好ましくない情報を重視して行われることを報告している。しかし、受講者の行動水準における従来の教育評価の研究では、評定主体が教育受講の前後の複数の時期に受講者の評定値を求めると、その値がどのように変化するかを検討されてこなかった。すなわち、誰が、いつ、受講者の行動水準における評価を行うと、信頼し得る教育効果の計測が得られるのかが不明確であった。

第 3 章では、受講者と上司の評価特性を明らかにし、実用的でありかつ信頼し得る教育評価の手法を検討した。この検討にあたり、教育評価は、自己評価と他者評価の評定値が異なることを指摘する従来の報告を勘案し、両評定値を直接的には比較しなかった。

職業人の教育では、受講者の主体性と上司による育成指導が求められるために、両者による受講者の行動水準に対する評価が必要である。実験の結果、教育コースが育成目標とする評価項目に対して、受講者による自己評価は受講 1 週間後に高い値を示し 4 週間後も継続するのに対して、上司による他者評価は 4 週間後に高い値を示すことが確認された。なお、本研究で使用了教育コースの受講により、受講者は組込みプログラミングの能力テストの得点を受講後に高めることが、実験 3-1 において確認されている。これらの結果は、教育の受講により獲得した技術と技能が、開発現場において評価されるためには、自己評価に比べて他者評価ではより長い時間が必要であることを示す。

以上のことを総合すると、自己評価と他者評価は、評価の発現時期が時間的に

ずれるが、両評価は受講 4 週間の経過後には共に高い値を示す。したがって、受講者と上司は、教育受講に伴った発現する受講者の行動変容を、一定期間後に共通した認識に至ると考えられる。

そこで、ESTEC に対する行動水準の教育評価は、次の手順によって、評価主体によらず安定して求められると考えられる。まず、教育において育成目標とする業務遂行能力の評価項目を、調査 3-2 で抽出した 12 種類の評価項目の中から選択し、各評価項目に対して、業務遂行能力の評価において重要と考える重み係数を与える。次に、受講者のその評価項目に対する評定値を、受講者と上司の双方が、受講 1 週間前と 4 週間後にそれぞれ求める。さらに、受講者と上司の別に受講 1 週間前と 4 週間後に計測した評定値の差を求め、重み係数を掛けて、それぞれの教育評価とする。なお、重み係数は、受講者が所属する企業の業種や受講者の職種と技術レベルによって異なることが想定され、異なる重み係数を用いた教育評価を比較するためには、さらなる検討が必要である。

4.3 受講者と上司の評価モデル

本節では、受講者の自己評価と上司の他者評価において認められた評価の発現時期がずれる現象が、特定技術者集団においてのみ生起するのではなく、異なる職種の社会人集団においても生起することを仮定し、受講者と上司における一般的な評価モデルについて考察を加える。

すなわち、本研究により確認された自己評価と他者評価において高い評定値を示す時期が一致しないことが、他の職業人に対する教育においても同様に観察される可能性を提起し、本研究の適用範囲を職業人教育一般へ敷衍することを念頭におき、3 種類の評価モデルとして、情報バイアスモデル、認知バイアスモデル、それに複合バイアスモデルを提案する。なお、全てのモデルでは、評価主体が評価を行うための必要条件として、評価客体を観察して受容した情報量が、評価主体の評価閾値を上回ることを仮定する。すなわち、評価主体は、評価閾値を越える量の情報を観察し終えた時点で、評定を行うものとする。

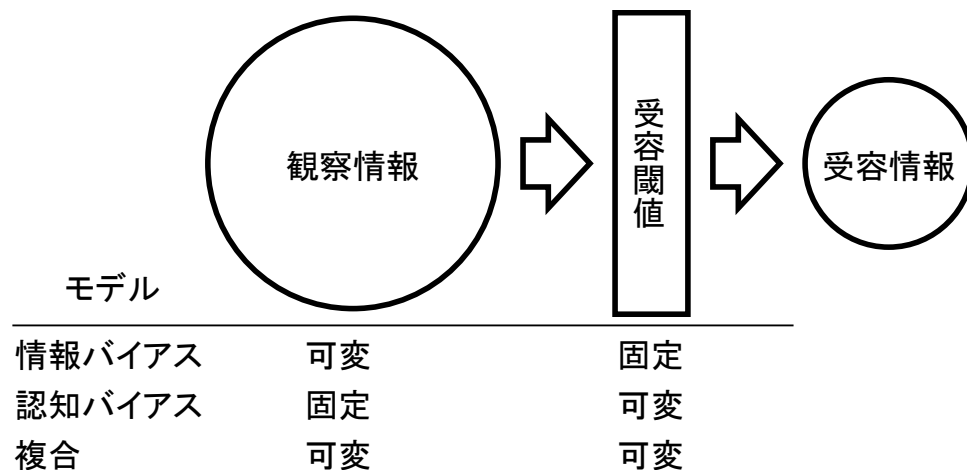


図 4-1 情報バイアスモデルと認知バイアスモデルと複合モデルにおける観察情報と受容閾値の関係。

3 種類の評価モデルは、評価客体を観察して得られる観察情報と、その受容の可否を定める受容閾値の違いにより、受容した情報量が評価閾値を越える時期に差が生じることを説明する。第 1 に、情報バイアスモデルは、評価主体間で、観察情報が可変であり、受容閾値は固定とする。第 2 に、認知バイアスモデルは、評価主体間で、観察情報は固定であり、受容閾値は可変とする。第 3 に、複合バイアスモデルでは、両者が可変とする。図 4-1 は、各モデルにおける観察情報と受容閾値の関係を示す。

情報バイアスモデル

Landy and Guion (1970) は、他者による人事評価の信頼性を規定するのは、評価主体による評価客体の行動観察の経験であり、彼ら同士の日常的な接触経験ではないことを示している。そこで、情報バイアスモデルでは、情報の受容閾値を一定と仮定しても、受講者と上司では観察する情報量が異なるために、信頼し得る評価を下すために必要な評価閾値を越える情報を獲得する時期が、両者で異なるとみなす。

受講者は、業務遂行により得られる成果物として、ソースコードを作成するが、その作成には平均して約 10 週間を要し、作成の途中にレビューが行われる（経済産業省商務情報政策局, 2008）。ここで、成果物の完成までに上司による 2 回のレ

ビューが行われると仮定すると、上司は約 3 週間ごとに受講者の成果物を確認する。上司による受講者の業務遂行能力の評価は、成果物の確認において具体的に行われ、それ以外では受講者の日常的な行動を観察するにとどまると考えられる。他方、受講者は、開発成果物の作成過程において、外部から観察し得ない思考を含め常に自己評価に使用する観察情報を入手する。すなわち、組込みソフトウェア技術者の受講者と上司では、業務遂行の評価を行うための観測情報を、受講者が上司よりも早くかつ多く入手する。

以上のことを総合すると、受講者は、評価閾値を越える情報を受講 1 週間後までに入手し、評価を行ったと考えられる。他方、上司は、受講者の日常的な行動観察からは十分な量の情報を入手できず評価を行い得ない。その後、受講 4 週間後までの間に受講者の成果物確認を行ない、評価閾値を越える情報を入手し、評価を行ったと考えられる。

すなわち、情報バイアスモデルに従うと、技術力を評価する項目 (E_7) の評価に必要な情報を、受講者は上司よりも多く入手し、受講者では 1 週間後に上司では 4 週間後に評価閾値を越え、それぞれ評定値を高くする。他方、自己の能力を伸ばす行動力を評価する項目 (E_{12}) の評価に必要な情報に関しても、同様に受講者は上司よりも多く入手し、受講者が 4 週間後に評価閾値を越え、高く評価する。しかし、上司が受容する情報量は 4 週間後においても評価閾値を越えず、評定値を高めない。

認知バイアスモデル

受講者と上司の評価モデルは、受講者が自己関連情報を自ら評価しているのに対して、上司が受講者を他者として評価していることによって特徴付けられる。Dunning, et al. (1989) は、自己評価において曖昧で多義的な情報が自分にとって都合の良い方向に解釈されることを報告している。他方、Hamilton, et al. (1972) は、他者に対する評定が好ましくない情報を重視して行われることを報告している。これらのことは、自己評価と他者評価において、評定を確定する上で必要とされる情報の処理に差が生じ得ることを示唆する。

認知バイアスモデルは、観察情報が評価主体の別により同一であると仮定する。しかし、評価主体が評価対象の情報を選択的に受容するために、受講者の業務遂

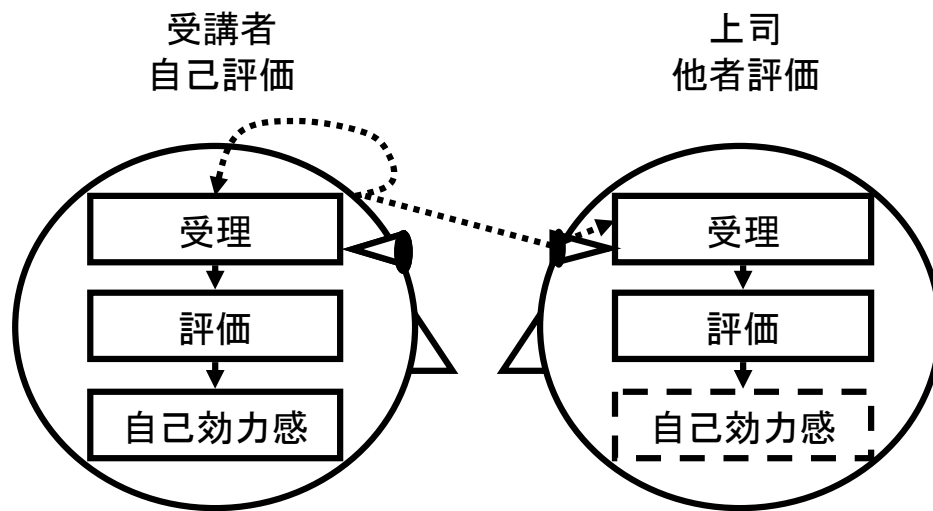


図 4-2 受講者と上司の評価過程における認知バイアスモデル。

行能力に対する評定値の高まりが、上司において、受講者自身よりも遅延されること、つまり、受講者への他者評価が、自己評価よりも処理に時間を要することを説明する（図 4-2）。

対人評定値の算出には、まず評定を確定するための基礎情報の受理を必要とする。次に、受理情報を用いて評定値を与える評価処理が行われる。さらに、業務遂行上で適切な行動を成し遂げられるという予期や確信に関わる自己効力感（self-efficacy）（Bandura, 1995 参照）が高まると考えられる。

技術力を評価する項目（ E_T ）に対して、受講者と上司が高い評定値を示す時期がずれる現象は、両者において異なる受理処理が行われたことを示唆する。すなわち、情報の受理は、扱う情報が自己関連情報であるか他者関連情報であるか、そして当該情報が被評定者にとって肯定的情報であるか否定的情報であるか、これら4種類の情報を評定者がどのように取り扱うかによって区別される。

受講者の自己評価における受理処理は、自らを肯定的に評価する情報に対して簡易な、あるいは少数の検証で済まされるが、自らを否定的に評価する情報に対しては、より多くの検証を必要とする。他方、上司の他者評価における情報の受理は、肯定的な情報に対しては自己評価よりもより厳密な検証を必要とし、否定的な情報に対しては簡易な手続きで進められる。

これらの仮定を受講者と上司の受理処理に設定すると、評価項目 E_7 の評定値が高い値を示す時期が、受講者の自己評価では受講 1 週間後であるに対して、上司の他者評価では 4 週間後に遅れる現象が説明される。

他方、自己の能力を伸ばす行動力 (E_{12}) に対して受講者のみが高い評定値を与えることは、受講者の自己効力感によって説明される。Bandura (1995) は、肯定的な効力の信念が学業能力の発達に効果を与えることを指摘している。彼の考え方に基くと、受講者は、教育受講により技術力を評価する項目 (E_7) に対する自己評価に高い評定値を与え、業務遂行能力の向上に対する自己効力感を高め、さらなる学習行動を起こし、自己の能力を伸ばす行動力 (E_{12}) に対して高い評定値を与えたと考えられる。

ただし、 E_{12} に対する受講者の自己評価による評定値は、 E_7 が受講 1 週間後に高い自己評価を受けて高まったこととは異なり、受講 1 週間後には変化せず、4 週間後に高い値を示した。このことは、受講者がさらなる学習「行動」を起こすには、あるいは自らの学習行動を受け入れるには、4 週間という相対的により長い時間経過を必要とするためと考えられる。

また、 E_{12} に対する上司による他者評価が、受講者による自己評価と同様の高まりを 4 週間後に示さなかったことは、 E_7 に対する上司の評定処理と同様の認知バイアスが働いたことによって説明される。すなわち、他者評価では、評価情報の収集に時間を要し、かつ肯定的な情報に対する厳密な証左を求めるために、肯定的な評価に遅延傾向が生じる。さらに、 E_{12} では、受講者の技能を未来に向けて伸ばす抽象的な「行動力」が問われ、 E_7 では、受講者の技能を現在に向けて駆使する具体的な力が問われている。抽象度が高い質問に応じた肯定的な評価の生起には受講後 4 週間よりも長い期間を必要とすると考えられる。よって、 E_{12} に対する他者評価の高まりの検証には、より長期の調査期間を組み込んだ実験的検討が必要とされる。

これらのこととは別に、本研究が提案する認知バイアスモデルにおいて上司は、部下育成に対する上司の自己効力感を高め、さらに部下の積極的な育成に取り組むことが想定される。この正のフィードバック過程と、部下への波及効果、および部下と上司のより高次の相互作用は、教育効果を高めることが期待されるために、今後の検討課題として残される。

複合バイアスモデル

複合バイアスモデルでは、部下と上司という 2 種類の評価主体は、それぞれ異なる情報を入手し、かつ選択的に情報を受容するために、情報量が評価閾値を越える時期に差が生じるとみなす。すなわち、複合バイアスモデルは、情報バイアスモデルと同様に、受講者は上司よりも、評価に必要な情報をより多く入手することを仮定する。さらに、複合バイアスモデルは、認知バイアスモデルと同様に、情報の内容に応じて選択的に情報を受理することを仮定する。したがって、複合バイアスモデルでは、評定者が入手する情報量に差があり、かつその内容に応じた選択的な受理が行われるために、情報量が評価閾値を越える時期に差が生じる。

職場では上司が常時部下の行動を観察することは無いために、行動水準の評価において、情報バイアスモデルが示すように、観察情報量は自己評価が他者評価よりも多いと考えられる。さらに、評価における主観性は、自己評価においては自己に都合が良く、他者評価においては他者に厳しくはたらくことが確認されており、認知バイアスが働く可能性が考えられ得る。したがって、複合バイアスモデルが、最もよく自己評価と他者評価に生じる発現時期のズレを説明し得ると考えられる。しかし、情報バイアスと認知バイアスのどちらがどの程度影響を与えているかは不明であり、モデルの正当性の検証にはさらなる研究が必要とされる。

4.4 本論文の結論

本研究の重要性は、第 1 に、ESTEC を開発し、実際の職業人教育を実施したことで、第 2 に、受講者の自己評価と上司の他者評価において、最大評定値の出現に時間的なズレが生じることを確認し、職業人教育の行動水準に対する教育評価を、両者の評価特性を勘案して行うことを提案したことにある。

本研究の実験結果は、ESTEC 受講者の業務遂行能力に対する評価特性が、受講者の自己評価と上司の他者評価で異なることを示す。すなわち、受講者は、上司よりも早く、教育の受講により生じる行動変容を評価する。このことは、行動水

準の教育評価では、両者の評価における時間特性、つまり評価主体による評価の発現時期の差異を勘案して行うべきであることを示唆する。その結果、評価主体によらず安定して ESTEC に対する行動水準の教育評価を行う方法として、受講 4 週間後の業務遂行能力の評定値から 1 週間前の評定値を減算し、重み係数を積和する式が提案された。

本研究では、上司の他者評価が受講者の自己評価に遅れる傾向が確認されたが、上司の評定に遅れが生じなければ、上司はより早期の適切な時期に部下の育成を行い得ると考えられる。部下である受講者に対する上司の評定行動の時期を早め、かつ評定の質を高めるためには、部下と上司間での情報交換を今まで以上に行うことが望まれる。

今後の課題は、第 1 に評価モデルを検証し組込みソフトウェア技術者教育以外への適用を検討することと、第 2 に部下と上司における従来の情報交換の頻度を単に高めるだけでなく、企業現場で利用可能な情報交換の手法が何であるのかを検討し、その有効性を検証することにある。

本論文の要約

近年、企業の開発現場において組込みソフトウェア技術者が不足し、職種転換と技術力の向上を目的として職業人に対する再教育が求められているが、体系的な教育カリキュラムが開発されていない（経済産業省商務情報政策局，2008）。よって、職業人の再教育において利用可能なカリキュラムの開発と、その教育効果の計測に基づくカリキュラムの改訂が必要とされている。

職業人教育に対する教育評価は、職業現場における行動変容の観察として行動水準において行う必要性が指摘されている（Kirkpatrick and Kirkpatrick, 2006）。行動水準の評価は、受講者（部下）による自己評価だけではなく、部下の育成責任を有する上司による他者評価においても行うことが求められる。

本研究の目的は、職業人に対する教育における透明性の高い行動水準の教育評価手法を構築するために、組込みソフトウェア技術者教育を実践例として用いて、受講者の自己評価と上司の他者評価の特性を検討することであった。この目的を達成するために実施された本研究の内容は、次の2種類に大別される。第1に、ESTEC（組込みソフトウェア技術者教育カリキュラム）を構築し、その妥当性を客観的に評価した。第2に、構築したESTECを用いて職業人を受講者とした教育を実践し、受講に伴って、受講者の自己評価と上司の他者評価がいかに変容するかを検討した。

本論文は4章から構成される。

第1章の序論では、教育評価研究と組込みソフトウェア技術者教育の実態を概観した。最初に、教育評価に関して、梶田（1992）とKirkpatrick and Kirkpatrick（2006）の分類を概説した。梶田（1992）は、教育評価をその目的によって、事前的評価、形成的評価、総括的評価、そして外在的評価の4種類に分類し、外在的評価により教育活動の改善が行われることを指摘した。Kirkpatrick and Kirkpatrick（2006）は、職業人に対する教育評価を、教育現場から教育終了後の職場にわたる時間軸に基づいて、反応水準、学習水準、行動水準、そして結果水準の4水準に分類し、職業現場における受講者の業務遂行を評価する行動水準の評価の重要性を指摘した。

他方、評価が主観に基づいて行われるときには、主観性が、自己評価において

は自己に都合が良く、他者評価においては他者に厳しくはたらくことが確認されている (Dunning et al.,1989; Hamilton et al., 1971). 本研究が対象とする組込みソフトウェア技術者の業務遂行に対する評価は、その多くが主観的に行われる。したがって、彼らの行動水準における教育評価は、受講者の自己評価と上司の他者評価の特性を明らかにすることにより、透明性高く行なわれる。

第2章では、ESTECを構築し、教育カリキュラムの妥当性を客観的に評価するために、職業人に対して教育を実施し評価の調査と実験を行った。

まず、教育カリキュラムを構築するために、3種類の技術レベル(初級、中級、上級)と3種類の職種(一般技術職、専門職、管理職)を組み合わせ、受講者を4種類の受講者クラス(初級、中級、上級、指導者)に分類した。そして、受講クラス別に、初級クラスには1種類の、中級には2種類の、上級には5種類の合計8種類の教育コースの教材を開発した。業務で使用する技能を育成するために、全ての教育コースに、プログラミングを中心とした演習を開発した。

調査2-1は、開発した教育カリキュラムの総合的な評価を目的として行われた。1年間に教育コースを合計16回開催し、受講者に対してコースの総合評価など4種類の項目を、5肢選択法(1「無い・悪い」から5「有る・良い」)で評定させる課題を課した。実験結果は、受講者の総合評価が全ての教育コースで4以上であることを示した。

実験2-2は、プログラミング演習における教育の実態を把握するために行われた。実験用に開発されたキー操作を記録するシステムを用いて、プログラミング演習における1分あたりのキー操作回数を1分単位で計測した。被験者は、初級クラスの教育コースに参加した受講者であり、彼らの課題は、演習課題のプログラム作成を90分間にわたり実施し、演習終了後に自由記述形式で演習の感想を記述することであった。実験結果は、演習課題を解くことができない受講者は、コーディングと動作確認の繰り返し回数が少なく、キー操作の停止時間が長くなることを示した。そこで、演習中にキー操作を長時間停止した受講者を検出し、受講者が学習意欲を失う前に、講師が演習プログラムの指導を実践し教育効果を高め得る可能性が提案した。

第3章では、職業人教育に求められる行動水準の評価を、5種類の実験と調査により実施した。

実験 3-1 では、受講者に対して組込みプログラミング能力テストと、受講者本人と直属の上司に対して受講者の業務遂行能力の総合的な評価を受講前後にわたり行った。実験結果は、受講者と上司の評価値は、いずれも受講前よりも受講後に高まる傾向を示した。しかし、両評価の発現時期がずれる現象が認められた。

調査 3-2 に新たに参加した受講者とその上司からなる被調査者群の課題は、業務遂行能力の評価に用いる項目を想起し、記述することであった。その結果、12 種類の項目を抽出した。

調査 3-3 に新たに参加した受講者とその上司からなる被験者群の課題は、調査 3-2 で抽出された項目に与える重みを多肢選択法で回答することであった。調査結果は、12 種類の評価項目に対する重みが、受講者と上司の群間で差がないことを示した。このことは、両者は異なる基準で評価を実施しているのではないことを示唆する。

実験 3-4-1 に新たに参加した被験者群の課題は、受講者の業務遂行能力を、受講前後の 3 種類の時期（1 週間前と 1 週間後と 4 週間後）に、7 段階の評価尺度によって評価することであった。実験結果は、技術力を評価する評価項目（ E_7 ）と、成長を評価する評価項目（ E_{12} ）に関して、教育受講後に高い評価値を示した。しかし、評価の発現時期は受講者と上司でずれており、 E_7 に対する評価では、受講者は受講 1 週間後に直ちに高い評価値を示すが、上司は 4 週間後に高い値を示すことが確認された。他方 E_{12} に対する評価では、受講者のみが 4 週間後に高い値を示すことが確認された。

実験 3-4-2 では、実験 3-4-1 と同じ被験者に対して、実験 3-4-1 で確認された評価値が受講後に高い値を示す現象が教育の受講により生起することを確認するために、教育を受講しない期間に実験 3-4-1 と同じ間隔で 3 種類の時期に評価値を求める課題を与えた。実験結果は、実験 3-4-1 で変化が確認された評価項目を含む全項目において、期間内に評価値が変化しないことを示した。このことは、実験 3-4-1 で確認された高い評価値は教育効果により生起したことを示唆する。

以上の 3 章における実験結果をまとめると、教育が育成目標とする業務遂行能力の評価項目に対する自己評価と他者評価は、評価の発現時期がずれるが、両評価は共に教育の受講 4 週間後に高い値を示すことが確認された。したがって、行動水準の教育評価は、評価主体の違いによらずに安定して求めるために、少なく

とも受講 1 週間より後、本論文では 4 週間後の業務遂行能力の評定値から、1 週間前の評定値を減算し重み係数を積和することを提案した。

第 4 章では、本研究の結果を総括し、結論を述べた。本研究の実験結果は、ESTEC 受講者の業務遂行能力に対する評価特性が、受講者の自己評価と上司の他者評価で異なり、評価の発現時期がずれることを示す。このことは、行動水準の教育評価では、両者の評価における時間特性、つまり評価主体による評価の発現時期の差異を勘案して行うべきであることを示唆する。

本研究では、上司の他者評価が受講者の自己評価に遅れる傾向が確認されたが、上司の評定に遅れが生じなければ、上司はより早期の適切な時期に部下の育成を行い得ると考えられる。今後、両者の評価の更なる検討と、部下である受講者に対する上司の評定行動の時期を早める手法の開発が期待される。

引用文献

- Alicke, M. D. (2000). Evaluating social comparison targets. In *Handbook of social comparison: Theory and research*. NY: Kluwer Academic/Plenum. pp.271-293.
- Bandura, A. (1977). *Social Learning Theory*. NJ: Prentice-Hall.
(原野 広太郎 (監訳) (1979). 社会的学習理論 金子書房)
- Bandura, A. (Ed.). (1995). *Self-efficacy in changing societies*. Cambridge: Cambridge University Press.
(本明 寛, 野口 京子 (監訳) (1997). 激動社会の中の自己効力 金子書房)
- Bloom, B. S. (Ed.). (1956). *Taxonomy of educational objectives, Hand book 1: cognitive domain*. CA: Addison-wesley Publishing Company.
- Bloom, B. S., Hastings, J. T., & Madaus, G. F. (1971). *Handbook on formative and summative evaluation of student learning*. OH: McGraw-Hill Customer Service.
(梶田 叡一・渋谷 憲一・藤田 恵璽 (訳) (1973). 教育評価法ハンドブック : 教科学習の形成的評価と総括的評価 第一法規出版)
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.) (2000). *How people learn*. WA: National Academy Press.
(森 敏昭, 秋田 喜代美 (監訳) (2002). 授業を変える認知心理学の更なる挑戦 北大路書房)
- Cronbach, L.J. & Snow, R.E. (1977). *Aptitudes and instructional methods a handbook for research on interactions*. NY: Irvington Pub.
- 知見 邦彦・櫛山 淳雄・宮寺 庸造 (2005). 失敗知識を利用したプログラミング学習環境の構築 電子情報通信学会, **J88-D-I**, 66-75.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1990). A motivational approach to self: Integration in personality. *Nebraska Symposium on Motivation*, **38**, 237-288.
- Dick, W. L. & Carey, J. O. (2001). *The systematic design of instruction*. CA: Addison-wesley Educational Publishers. Inc.
(角 行之 (監訳) (2004). はじめてのインストラクショナルデザイン:米国流標準指導法 Dick & Carey モデル ピアソン・エデュケーション)
- Dunning, D., Meyerowitz, J. A., & Holzberg, D. (1989). Ambiguity and self-evaluation:

- The role of idiosyncratic trait definitions in self-serving assessments of ability. *Journal of Personality and Social Psychology*, **57**, 1082–1090.
- Dweck, C. S. (1975). The role of expectations and attributions in the alleviation of learned helplessness. *Journal of personality and Social Psychology*, **31**, 674-685.
- 藤田 恵璽 (1995). 学習評価と教育実践 金子書房.
- Gilovich, T. (1991). *How we know what isn't so: The fallibility of human reason in every life*. London: Macmillan Publishing Company.
- (守 一雄・守 秀子 (訳) (1995). 人間この信じやすきもの一迷信・誤信はどうして生まれるか 新曜社)
- Hamilton, D. L. & Zanna, M. P. (1971). Differential weighting of favorable and unfavorable attributes in impressions of personality. *Journal of Experimental Research in Personality*, **6**, 204–212.
- 原嶋 秀次 (2006). 東芝グループにおけるスキル標準の開発展開 工学教育, **54**, 55-58.
- IPA/SEC (情報処理推進機構ソフトウェア・エンジニアリング・センター) 編 (2005). 組込みスキル標準 ETSS 概説書 (2005 年版) 翔泳社.
- IPA/SEC 監修 (2006). 組込みソフトウェア開発のための ETSS 標準ガイドブック 日経 BP 社.
- IPA/SEC (2007a). 組込みスキル標準 ETSS2007 経済産業省.
- IPA/SEC (2007b). 組込みスキル標準スキル基準 経済産業省.
- IPA/SEC (2007c). 組込みスキル標準キャリア基準 経済産業省.
- IPA/SEC (2007d). 組込みスキル標準教育研修基準 経済産業省.
- 市川 伸一 (1995). 学習と教育の心理学 岩波書店.
- 伊藤 篤・渡辺 裕・樽松 明・村上 仁己・湯山 一郎・宮道 壽一・長谷川 光司・細島 美智子・月川 淳・藤井 雅弘 (2007). 携帯電話用組み込みソフトウェア開発の実践的教育における産学連携の課題 情報処理学会論文誌, **48**, 846-857.
- 情報処理学会 組込みシステム研究会 (監修) (2008). 組込みシステム概論 CQ 出版社.
- 情報処理推進機構 IT スキル標準センター (2007). IT 人材市場動向予備調査報告書 経済産業省.

- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. MA: Harvard Business School Press.
- (吉川 武男 (訳) (1997). バランススコアカード 新しい経営指標による企業変革 生産性出版)
- 梶田 叡一 (1992). 教育評価 (第2版補訂版) 有斐閣.
- 鎌原 雅彦・亀谷 秀樹・樋口 一辰 (1983). 人間の学習性無力感 (Learned Helplessness) に関する研究 日本教育心理学会, **31**, 80-95
- Kirkpatrick, D. L. & Kirkpatrick, J. D. (2006). *Evaluation training programs the four levels*. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, Inc.
- 小松 秀圀 (2000). 教育プログラムの管理と経営, 坂元 昂・水越 敏行・西之園 春夫 (編) 教育工学辞典 実教出版, pp.160.
- Knowles, M. S. (1975). *Self-Directed Learning a guide for learners and teachers*. Cambridge: Cambridge Book Company.
- (渡辺 洋子 (監訳), 学習者と教育者のための自己主導型学習ガイド 明石書店)
- 外山 美樹, 桜井 茂男 (2001). 日本人におけるポジティブ・イリュージョン現象 心理学研究, **72**, 329-335.
- 経済産業省商務情報政策局 (2006). 2006 年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書 経済産業省.
- 経済産業省商務情報政策局 (2008). 2008 年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書 経済産業省.
- Landy, F. J. & Guion, R. M. (1970). Development of scales for the measurement of work motivation. *Organizational Behavior and Human Performance*, **5**, 93-103.
- Linn, R. L. (Ed.). (1989). *Education measurement third edition*. WA: American Council on Education.
- (池田 央・藤田 恵璽・柳井 春夫・繁桝 算男 監訳, 教育測定学 みくに出版)
- Luigi, A., Vincentelli, S., & Pinto, A. (2005). Embedded System Education A New Paradigm for Engineering Schools? *ACM SIGBED Review*, **2**, 5-14.
- 長島 正明・近藤 康雄・田中 久隆・宮近 幸逸・秋山 雅彦・石渕 信孝・早川 元造 (2006). 地元企業と連携した PBL 教育の実践と教育効果 工学教育, **54**,

87-91.

- 中村 喜宏・赤松 則男・桑原 恒夫・玉城 幹介 (2002). 操作時間間隔の変動に着目した CAI 学習の行き詰まり検知方法 信学論 (D-I), **J85**, 79-90.
- 野嶋 栄一郎 (2000). 教育評価, 坂元 昂・水越 敏行・西之園 春夫 (編) 教育工学辞典 実教出版, pp.158.
- 三宅 なほみ (2004). 学習科学とテクノロジー, 放送大学出版振興会.
- 三輪 和久・杉江 昇 (1992). 学習の初期段階における計算機プログラミングの動的過程 人工知能学会誌, **7**, 138-148.
- 西 康晴 (2003). SESSAME:組込みソフトウェア技術者・管理者への教育に関する取り組み 情報処理学会研究報告 SLDM, **2003**, 1-5.
- 櫻井 桂一・三輪 和久・岡田 稔・岩田 晃・松本 哲也・池田 幹男 (1996). 時系列キー入力データの分析結果に対する一考察 日本教育工学, **20**, 179-185.
- 櫻井 桂一・三輪 和久・岡田 稔・熊谷 毅 (1996). プログラミング実習過程を記録するためのデータ収集システム 日本教育工学, **20**, 123-132.
- 佐藤 学 (2000). カリキュラム開発, 坂元 昂・水越 敏行・西之園 春夫 (編) 教育工学辞典 実教出版, pp.120.
- 清尾 克彦・村田 裕・山口 義一・細井 真知夫 (2006). 三菱電機グループにおけるソフトウェア人材育成の取り組み 工学教育, **54**, 59-64.
- Taylor, S. & Brown, J. D. (1988). Illusion and well-being: A social psychological perspective on mental health. *Psychological Bulletin*, **103**, 211-222.
- Thorndike, E. L. (1918). *Seventeenth Yearbook of the National Society for the Study of Education Part II*. NY: Public School Publishing Co.
- Trivers, R. (1971). The evolution of reciprocal altruism. *Quarterly Review of Biology*, **46**, 35-57.
- Tyler, R. W. (1931). A Generalized Technique for Constructing Achievement Tests. *Educational research Bulletin*, **10**.
- 築添 明・林田 隆則・安浦 寛人・平川 和之・伊藤 文章・村上 貴志・久住 憲嗣・中西 恒夫・福田 晃 (2006). シリコンシーベルト福岡のシステム LSI 設計人材育成-社会人教育 工学教育, **54**, 38-42.
- 撫尾 知信 (1993). 教育評価の展望 学習評価研究, **15**, 36-43.

Weiner, B. (1980). *Human Motivatoin*. NY: Holt, Rinehart & Winston.

(林 保・宮本 美沙子 (監訳) (1985). ヒューマン・モチベーション 動機付け
の心理学 金子書房)

座古 勝・鳴海 邦碩・佐藤 武彦・山本 孝夫・濱 恵介・柳父 行二・篠原 祥・村
田 雅人・上西 啓介・加賀 有津子・松村 暢彦・中川 貴・倉敷 哲生 (2006).
OJE (On the Job Education) 方式による実践型演習 工学教育, **54**, 69-75.

関連論文

学術雑誌論文（査読有）

1. Yamamoto, M., Tomiyama, H., Takada, H., Agusa, K., Mase, K., Kawaguchi, N., Honda, S., & Kaneko, N. (2006). NEXCESS: Nagoya University Extension Courses for Embedded Software Specialists. *ACM SIGBED Review*, **2**, 20-24.
2. 山本 雅基・河口 信夫・阿草 清滋・間瀬 健二・高田 広章・富山 宏之・本田 晋也・金子 伸幸 (2006). 社会人に対する組込みソフトウェア技術の再教育の取り組み 電気学会論文誌 A, **126**, 563-569.
3. 山本 雅基・阿草 清滋・間瀬 健二・高田 広章・河口 信夫・富山 宏之・本田 晋也・金子 伸幸 (2006). NEXCESS：社会人組込みソフトウェア技術者教育におけるスキル育成 工学教育, **54**, 49-54.
4. Yamamoto, M., Honda, S., Takada, H., Agusa, K., Tomiyama, H., Mase, K., Kawaguchi, N., & Kaneko, N. (2007). Practice and Analysis of an Extension Course for Training Trainers of Embedded Software. *ACM SIGBED Review*, **4**, 73-81.
5. 山本 雅基・齋藤 洋典 (2007). 組込みソフトウェア教育の受講者と上司による受講後の教育効果評価 工学教育, **55**, 81-85.

国際学会（査読有）

1. Yamamoto, M., Tomiyama, H., Takada, H., Agusa, K., Mase, K., Kawaguchi, N., Honda, S., & Kaneko, N. (2005). NEXCESS: Nagoya University Extension Courses for Embedded Software Specialists. *Workshop on Embedded System Education 2005*. 16-20.
2. Yamamoto, M., Tomiyama, H., Honda, S., Kaneko, N., Mase, K., Kawaguchi, N., Takada, H., & Agusa, K. (2006). An analysis of learner's activities in embedded software programming practices. *19th Conference on Software Engineering Education and Training*.
3. Y Yamamoto, M., Honda, S., Takada, H., Agusa, K., Tomiyama, H., Mase, K., Kawaguchi, N., & Kaneko, N. (2006). An Extension Course for Training Trainers of Embedded Software. *Workshop on Embedded System Education 2006*. 95-102.

国内学会（査読有）

1. 山本 雅基・本田 晋也・高田 広章・金子 伸幸・阿草 清滋・間瀬 健二・河口 信夫（2006）. NEXCESS における指導者養成の取り組み 情報処理学会 組込みシステムシンポジウム論文集, 110-113.
2. 山本 雅基・齋藤 洋典（2007）. 組込みソフトウェア教育の受講者と上司による受講後の教育効果評価 日本認知科学会第 24 回全国大会発表論文集, 280-281.
3. 山本 雅基・齋藤 洋典（2008）. 業務遂行能力に着目した職業人教育の評価 日本認知科学会第 25 回全国大会発表論文集, 62-65.

国内学会（査読無）

1. 山本 雅基・阿草 清滋・間瀬 健二・高田 広章・河口 信夫・富山 宏之・本田 晋也・金子 伸幸（2005）. 社会人に対する組込みソフトウェア技術の再教育の取り組み 電気学会教育フロンティア研究会資料, **FIE-05-18-31**, 1-6.

総説（査読有）

1. 山本 雅基・阿草 清滋・間瀬 健二・高田 広章・河口 信夫・富山 宏之・本田 晋也・金子 伸幸（2005）. 大学における社会人向け組込みソフトウェア技術者人材養成の実施と分析 SEC journal, **4**, 36-45.

総説（査読無）

1. 山本 雅基（2006）. 組込みソフトウェア教育における体験型学習の調査 SEC journal, **6**, 53.
2. 山本 雅基・高田 広章・齋藤 洋典・間瀬 健二・河口 信夫・富山 宏之・本田 晋也・金子 伸幸（2007）. 組込みソフトウェア教育の実施効果に関する調査 SEC journal, **10**, 45.
3. 山本 雅基・齋藤 洋典・高田 広章・石田 利永子・間瀬 健二・河口 信夫・富山 宏之・本田 晋也・今井 敬吾（2008）. 組込みソフトウェア教育効果計測のための調査研究 SEC journal, **14**, 47.

付録

本論文で用いた質問紙と実験材料などを記載する.

付録 1. 調査 2-1 で用いた質問項目

受講受付時に開示したシラバス項目

- 日程
- 費用
- 場所
- 定員
- 講師名
- コース概要
- 実習機材
- 到達目標
- 対象者
- 前提条件
- 各日の講義内容

受講申込者への質問項目

- 氏名
- メールアドレス
- 年齢
- 職種
- 勤務先名称
- 部署名
- 役職
- 勤務先住所
- 上司許可の有無 (2. 有, 1. 無)
- 上司氏名

- 上司部署
- 上司役職
- 受講の動機
- ソフトウェア開発経験
- 組込みシステム開発経験
- 現在の業務
- 受講経験を活かしたいこと

受講者への質問項目

- 関心の有無（5. とても関心がある, 4. 割と関心がある, 3. 普通, 2. あまり関心が無い, 1. 全く関心が無い）
- 分かりやすさ（5. とても分かりやすい, 4. 割と分かりやすい, 3. 普通, 2. 少し分かりにくい, 1. 大変分かりにくい）
- 業務への適用（5. 大いに適用できる, 4. 少し適用できる, 3. 普通, 2. あまり適用できない, 1. ほとんど適用できない）
- 総合評価（5. 大変満足した, 4. 満足した, 3. 普通, 2. 不満である, 1. 大変不満である）
- 受講のきっかけ

欠席者への質問項目

- 欠席の理由は何ですか

付録 2. 実験 2-2 で用いた質問項目

プログラム演習課題

イベントフラグと周期ハンドラを使ってスイッチの状態を LED に反映させるプログラムを作成しましょう。

- 周期ハンドラで SW4 と SW5 の状態を周期的に監視し, SW4 と SW5 の状態が変化したらタスクにイベントフラグで通知します。

- ・タスクは 1 つで、イベントフラグ待ちとなりイベントフラグによる通知があれば、その通知に従って LED の状態を変更します。
- ・初期状態は初期化ルーチンで設定します、
- ・LED と SW の初期化も同じく初期化ルーチンで行います。
- ・イベントフラグをセットするタイミングはスイッチの状態が変化した場合のみが望ましいですが、難しい方は、常に周期ハンドラでスイッチの状態を設定してもかまいません。

付録 3. 実験 3-1 で用いた質問項目

受講者に対する事前・事後テスト

(制限時間 5 分)

以下のプログラムは、スイッチを読み取り、スイッチに応じて LED を点灯・消灯させます。スイッチと LED の関係は、以下のとおりです。

スイッチ 4ON→LED2 点灯。スイッチ 4OFF→LED2 消灯。

スイッチ 5ON→LED3 点灯。スイッチ 5OFF→LED3 消灯。

```

1: #define P7_LED2 0x20 /* LED2 */
2: #define P7_LED3 0x10 /* LED3 */
3: #define P8_SW4 0x02 /* スイッチ 4 */
4: #define P8_SW5 0x01 /* スイッチ 5 */
5:
6: void
7: main(void){
8:     unsigned char sense = 0;
9:     unsigned char led_data = 0;
10:
11:     init_led();
12:     init_switch();
13:
14:     for (;;) {
15:         sense = sense_switch();
16:
17:         if ((sense & P8_SW4) == 0x00) {
18:             led_data |= P7_LED2;
19:         }
20:
21:         if ((sense & P8_SW5) == 0x00) {
22:             led_data |= P7_LED3;
23:         }
24:
25:         led_out(led_data);
26:     }
27: }
```

(1)から (4) の質問に答えなさい。

(1) スイッチの状態を、`sense_switch()`関数で読んでいます。では、関数内では、どこから読んでいますか？次の(a)から(e)の中から1つ選びなさい。

- (a) バンク (b) セグメント (c) フリップフロップ
(d) ポート (e) チャタ

(2) LEDがプルアップされている場合、マイコンから”1”を出力するとどうなりますか？

なお、LEDは、インバーターを介して接続されているものとします。
次の(a)から(e)の中から1つ選びなさい

- (a) クロックの周期で点滅を繰り返す (b) 点灯する (c) 消灯する
(d) 前の状態を保持する (e) クロックの半分の周期で点滅を繰り返す

(3) 21行目の条件式が真となる `sense` 値の例を、16進数で1つ書きなさい。

(4) 16行目にコードを追加する必要があります。どのコードを追加すればよいですか？次の(a)から(f)の中から1つ選びなさい

- (a) `sense ^= (P8_SW4 | P8_SW5);`
(b) `sense |= (P8_SW4 | P8_SW5);`
(c) `led_data ^= (P7_LED2 | P7_LED3);`
(d) `led_data |= (P7_LED2 | P7_LED3);`
(e) `led_data = 0x00;` (f) `led_data = 0xff;`

受講者への質問事項

- 私は最近1ヶ月の間に仕事をする能力が高くなった (4. そうだ, 3. まあそう
うだ, 2. ややちがう, 1. ちがう)

上司への質問事項

- 部下は最近1ヶ月の間に仕事をする能力が高くなった (4. そうだ, 3. ま
あそうだ, 2. ややちがう, 1. ちがう)

付録 4. 調査 3-2 で用いた質問項目

受講者への質問事項

- 自分の業務遂行能力を評価する際に観察している点

上司への質問事項

- 部下の業務遂行能力を評価する際に観察している点

付録 5. 調査 3-3 で用いた質問項目

受講者への質問事項

- 自分の業務遂行能力を自己評価する際、次の項目を、それぞれどの程度重要であると考えますか（1. 重要ではない から 5. 重要である）.

品質（機能性，信頼性，使用性，効率性，保守性，移植性）を高める
費用を管理する（妥当な見積もりを立てるなど）

時間を管理する（スケジュール遵守など）

チームメンバーと共同作業をする（繁忙時の作業振り分けなど）

上司への報告・連絡・相談をする（論理立てた報告など）

顧客とコミュニケーションをとる（顧客との折衝など）

担当業務を遂行する（プログラミングをするなど）

担当業務を含む業務の全体を捉える（業務内容を説明できるかなど）

問題発見および問題解決をする

業務遂行に好ましい性格である（積極的など）

責任感が強い（単なる忙しさを理由に仕事を断らないなど）

自己の能力を伸ばす取り組みをする

上司への質問事項

- 部下の業務遂行能力を他者評価する際、次の項目を、それぞれどの程度重要であると考えますか（1. 重要ではない から 5. 重要である）.

（項目は，受講者への質問事項と同じ）

付録 6. 実験 3-4-1, 3-4-2 で用いた質問項目

受講者への質問事項

- 次の各項目に関して、現在、あなたは、あなた自身を、どのように評価していますか（1：低い，4：中庸，7：高い）.

品質（機能性，信頼性，使用性，効率性，保守性，移植性）を高める能力

費用を管理する能力（妥当な見積もりを立てるなど）

時間を管理する能力（スケジュール遵守など）

チームメンバーと共同作業を行う能力（繁忙時の作業振り分けなど）

上司への報告・連絡・相談をする能力（論理立てた報告など）

顧客とコミュニケーションをとる能力

担当業務を遂行する組込みソフトウェア開発技術力（プログラミング力など）

担当業務を含む業務全体を捉える能力（業務内容を説明できるかなど）

問題発見および問題解決をする能力

業務遂行に好ましい性格の傾向（積極的であるなど）

責任感の強さ（単なる忙しさを理由に仕事を断らないなど）

自己の能力を伸ばす取り組みを行う行動力

上司への質問事項

- 次の各項目に関して、現在、あなたは、受講者を、どのように評価していますか（1：低い，4：中庸，7：高い）.（項目は、受講者への質問事項と同じ）

謝辞

本博士論文をまとめるにあたって、名古屋大学大学院情報科学研究科認知情報論講座の齋藤洋典教授には、実験計画の立案から、実験の実施、結果の分析および考察に至るまでの様々な場面におきまして、多くのご助言およびご指導を賜りました。懇切に繰り返し貴重なコメントをいただきましたために、本論文を完成させることができました。齋藤教授から賜りました数々のご指導に対して、ここに深く感謝の意を表します。

また、名古屋大学大学院情報科学研究科認知情報論講座の三輪和久教授、川合伸幸准教授、光松秀倫助教には、所属講座のゼミの場におきまして、数々の貴重なご助言を賜りました。認知情報論講座の先輩後輩諸氏には、本研究を進めるにあたり様々なご助言やご支援をいただきました。心より感謝申し上げます。

名古屋大学大学院情報科学研究科附属組込みシステム研究センターにおいて組込みソフトウェア技術者人材養成プログラムを推進する、阿草清滋教授、高田広章教授、間瀬健二教授、河口信夫准教授、富山宏之准教授、本田晋也助教、石田利永子研究員、今井敬吾研究員、金子伸幸元研究員、川村理香事務員には、本研究における教育コースの作成とその運営におきまして、数々のご助言とご支援をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

組込みソフトウェアの人材養成の出発点となりました場所は、株式会社デンソークリエイトでした。伊藤健三元社長からは、組込みソフトウェアの技術と人材養成の奥行きの深さを学びました。その奥行きの深さに共鳴し仕事を共にした多くの元同僚に、ここに深く感謝の意を表します。

また、本研究を進めるにあたり、多くの先生方、友人、先輩後輩方から、数多くのご助言を賜りました。さらに、調査の実施に際し、多くの受講者とその上司の方々にご協力を頂きました。これらの方々に心より感謝申し上げます。最後になりましたが、支えてくれた家族に心から感謝いたします。

2009 年 1 月 山本雅基