

作業手順訓練システムの有効性の検証

徳田晋一 松本俊之 金沢孝
イーグル工業 慶応義塾大学

手作業を多く含む組立ラインには、生産の立ち上がり時に、作業者の習熟の問題が必ず発生する。今日の多品種変量生産化、製品寿命の短命化、作業者定着率の低下の傾向は、この問題を一層大きくしている。この問題を解決する1つの方法として、生産準備段階で得られる情報を使用した作業訓練がある。本研究の目的は、作業効率を向上するための「作業手順訓練システム」の開発とその有効性の検証である。作業手順の体系的伝達と実作業イメージを中心に考慮し、開発したシステムを実際の工場作業に適用して検証実験を行った結果、システムの有効性が確認された。①作業手順訓練による習熟の効果が明確に示された。②開発したシステムは作業経験の少ない作業者を作業経験のある作業者と近いものにすることが示された。これらの効果を考慮すると、この方法がライン作業に適用されたときの効果が大きいことは明白である。また副次的効果として、この実験を行ったことで、組立作業の手順訓練を行う上で考慮すべきいくつかの点が明らかになった。

A Development of Work Step Training System

Sin-iti Tokuda Toshiyuki Matsumoto Takasi Kanazawa
EAGLE INDUSTRY CO.,LTD KEIO UNIV.

At a manual assembly line, learning effect is always a problem at the time of starting new production. It becomes keener under the situation where variable volume variety production, short product life and high mobility of workers are required. In order to initiate the training early, it is necessary to prepare a training method which does not require the use of actual parts but only information obtainable at the time of preparing production. The purpose of this study is (1) to design a systematic training method of "assembly work steps" with still video system, and (2) to prove its effectiveness in an actual factory environment. As a result of applying this system to an actual factory operation line, it was shown that the training method was effective at the early learning stage of assembly work. Specifically following conclusions were obtained, ①The training could significantly lower the work time. ②The system designed can take the level of the inexperienced workers near to that of the experienced workers. In view of the above results, when applied to actual series of assembly works, the method will produce significant economic result.

1. はじめに

手作業が多く含まれる組立ラインには、生産の立ち上がり時に、作業者の習熟の問題が発生する。これは、作業開始時に多大な損失を生んでいる。今日の生産における多品種変量と、作業者の定着率の短期化傾向は、その問題をより大きくしている。2つの環境の変化は、新製品の立ち上げのみならず、工程変更を頻繁に起こす原因にもなっている。

また、近年の少量生産によって、数ヶ月に1台の生産を行わなければならない状況と考えた場合、その組立を速やかに実施するには、作業者に必要な作業手順を逐次指示することが必要となる。

これらの問題を解決するために、生産開始時の作業効率を向上するトレーニングツールを開発し、その有効性を検証する。

2. 研究のフレームワーク

2.1 研究の着眼点

本研究は、組立作業の習熟を促進する要因を式1のように考えた。

$$\text{習熟} = f(\text{設備} \times (\text{作業手順の習熟} + \text{作業スキルの習熟})) \text{---式1}$$

習熟を促進するには、

- ① 新規設備(ロボット、治具)を導入し、作業環境を改善する
- ② 作業者のスキル(ドライバーによるネジ締め等)を向上させる
- ③ 作業手順の記憶を増長させる

等の方法が考えられる。この内、①新規設備の改善については、環境に関する進歩がめざましく、実際の作業現場でもかなりの自動化が進んでいる。また、②作業スキルの問題は、作業者が生産開始以前にシミュレーターを使ったスキル訓練を行うことによって、さほど難しくはない。そこで本研究では、作業手順を実際の部品が納入される以前に、作業手順の訓練を実施し、生産立ち上げ時の効率を向上させることに着目する。

2.2 習熟の定義

作業者が経験のない作業を行った場合、作業の初期段階には、図2に示す通りに作業時間が指数的に減少する習熟効果がみられる。特に初期段階(生産開始直後)において、作業者の習熟過程は式1に従うことが知られている。(1)

$$Y = \alpha \cdot X^{-\beta} \text{---式2}$$

(作業時間:Y、生産台数:X、 α :初期値、 β :習熟係数)

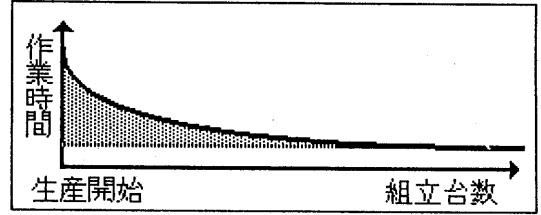


図1:組立台数と作業時間の関係

3 作業手順訓練ゲームの開発

3.1 現状の作業手順伝達方法

一般の生産現場において、作業手順の伝達は、作業指示書と実機を用いて、スタッフが行っている(図2)。この方法の欠点を表1にまとめる。

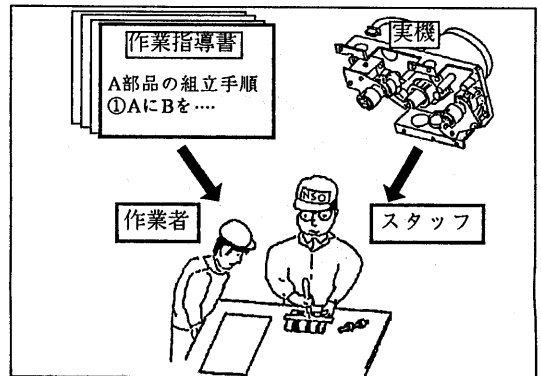


図2:現状の作業手順伝達方法

表1:現状の作業手順伝達方法の欠点

- ① 作業指示書作成などのスタッフの負担が増す
- ② 実機が数台必要である
- ③ 作業者のペースで伝達が行われない
- ④ 習得度の確認が行われない

表1の問題点を解消するために、本研究ではトレーニングツールを使って、作業者が一人で作業手順を記憶できるシステムを提案する(図3)。

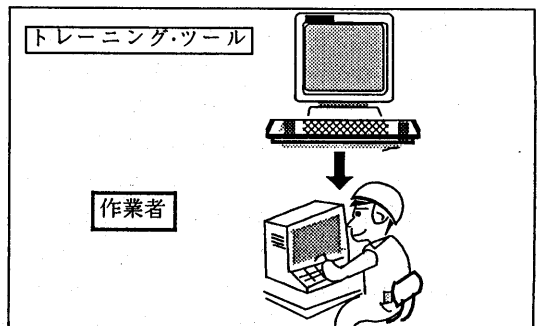


図3:提案する方法

3.2 情報の整理

3.2.1 情報整理の必要性

3.1で示した作業手順の伝達の際、使用される作業手順書は、一般的に文章や絵を使って記述されている。しかし、この2つが標準化されていない事が多い。これは、スタッフが作業標準書を作成する工数が多大な割に、実際には作業者に実演しながら説明を行うために、その書類の必要性があまりない事に起因している。また1つの作業を複数のスタッフが教育する場合、その教え方は必ずしも同じ方法であるとは限らない。

作業手順書が標準化されていない事とスタッフの言葉が異なることによって、作業者は作業手順を記憶する際に混乱してしまう。

この様に、情報に一貫性がない状況での作業方法の伝達は、非常に困難である。本研究では、システムを構築する前に、表2の理由から情報の整理と標準化を行った。

表2:情報の標準化の利点

- ①体系的な伝達が可能である
- ②機械で処理しやすい
- ③作業者の混乱を防ぐ

3.2.2 情報整理の例

本研究では、組立作業に必要な情報を図4のように分類した。

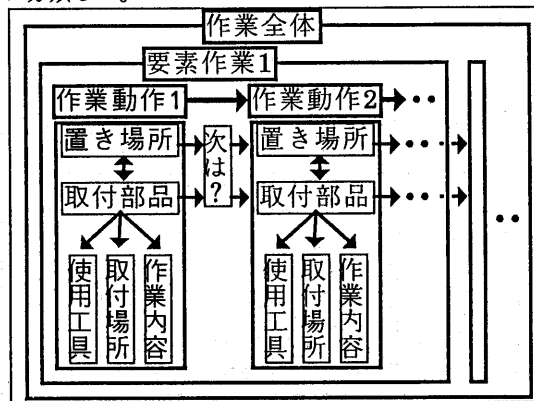


図4:組立作業に必要な情報

M1つの工程で行われるを組立を「作業全体」、その工程で1つのユニット(部品)を組み立てるまで(例:ある部品を取りつけてからスクリューで止めるまで)を「要素作業」、1つの部品(例:スクリュー)を取ってから取りつける(例:ドライバーで締めつける)までを「作業動作」と呼ぶ。この「作業動作」を中心に情報を5つに分けた(表3)。

表3:組立作業に必要な5つの情報

情報名称	内容
取付部品	対象部品の形状または名称
置き場所	対象の部品の置き場所
使用工具	その作業に必要な使用工具
取付場所	対象の部品の取付場所
作業内容	作業者が行う動作

3.2.3 情報整理の例

(1)5つの情報の例

例えば、「要素作業」が「2本のシャフトにブリーをセットし、Eリングで固定する」とした場合の、「Eリングで固定する」という「作業動作」モデル作業を考える(図5)。

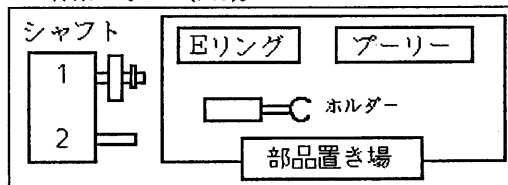


図5:モデル作業

この時の5つの情報は、表4の通りになる。

表4:モデル作業における5つの情報の例

情報名称	例
取付部品	Eリングを
置き場所	左から取り
使用工具	ホルダーで
取付場所	シャフト1に
作業内容	固定する

(2)手順情報の処理過程

モデル作業における作業動作の組合せを図6に示す。この簡単な作業ですら組合せが、32通りも存在する。

作業者は、数多い組合せの中から、正しい一組を記憶しなければならない。このように多くの組合せが存在することより、作業者が体系的に記憶できるように5つの情報の利用を決定した。

3.3 作業手順訓練の条件

3.3.1 情報形態の決定

現場の作業者が作業手順を記憶するには、表5に示される「文字情報」と「絵の情報」が必要になっている。それぞれが作業手順書から「文字」「略図」で、実機を使ってスタッフから「言葉」「現物」で伝達が行われる。

しかし実際に情報伝達するには、実機が重要な意味を持っている。本研究で目標としている、実機を

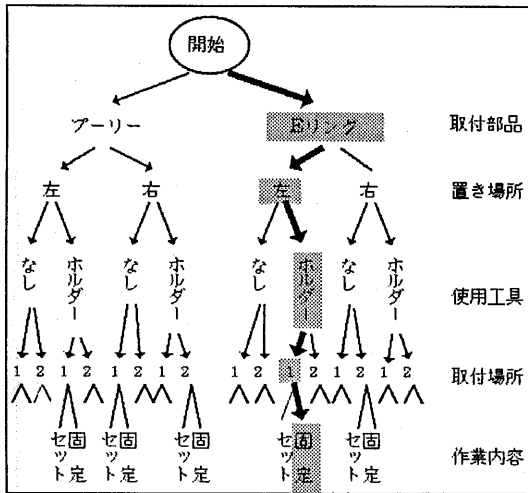


図6:手順情報の処理過程

表5:伝達される情報

文字情報	前の情報	情報名	作業指導書	実機
		部品名	文字	言葉
絵の情報	場所の情報 形の情報	工具名	文字	言葉
		作業内容名	文字	言葉
		置き場所	なし	現物
		取付場所	略図	現物
		部品	略図	現物
		工具	なし	現物

用いない情報伝達では、場所、形のイメージが湧きにくい。そこで実機の代替として、絵の情報に写真を用いる。

3.3.2 ハードウェアの決定

作業手順の訓練を効率的に行うために必要な条件と、そのアプローチの方法を表6に示す。

表6:作業手順訓練に必要な条件とアプローチ方法

作業条件	必要な条件	ハードウェアによるアプローチ	ソフトウェアによるアプローチ
	作業者	効率的な学習	スチルビデオの画像
学習意欲			訓練結果をフィードバック
簡単な使用方法		タッチパネル	使いやすい設計
スタッフ	一人で訓練可能		対話式ゲームの形態
	少ない準備工数	パソコン	データベースの有効利用
	安価なシステム	システム全体で100万円	

本研究では、作業者が簡単に意欲をもって効率的に

学習できるように、絵の情報をスチールビデオで与え、作業者とのインターフェースにはタッチパネルを採用した。またスタッフの立場から、準備に時間のかからなく安価でスタッフが補助しなくても作業者が一人で訓練が実施できるように、パソコンを利用した対話式ゲームの形態でシステムを構築した。

3.4 作業手順訓練ゲーム

3.4.1 作業手順訓練ゲームの概要

作業手順訓練ゲームは図7に示される流れで情報を学習者に伝達する。本システムは、スチールビデオカメラで撮影された画像情報と、技術データベースから検索された文字情報を、スーパーインポザーを使って合成する。この作業手順情報をモニターによって学習者に伝え、訓練を行う。

モニター上の情報は、本研究で必要性が確認された作業に必要な5つの情報に対応させた。(表7)

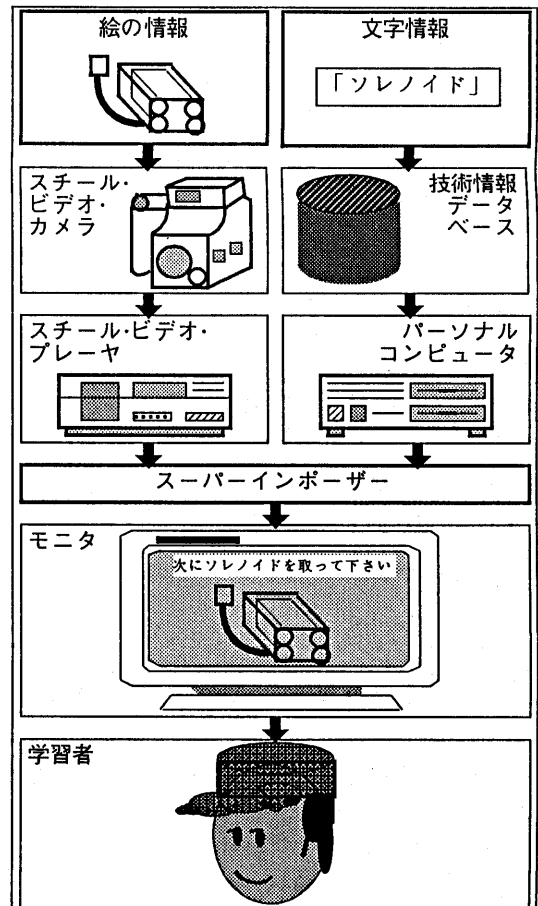


図7:作業手順訓練システム

表7:5つの情報の与え方

情報名称	インストラクション	テスト
取付部品	どの部品を	次にどの部品を取りつけますか?
置き場所	どこから	どこから取りますか?
使用工具	どの工具を使って	使用工具はどれですか?
取付場所	どこへ	どこに取りつけますか?
作業内容	どうする	作業内容は何かですか?

本研究で提案するシステムの特徴を表8に示す。

表8:作業手順訓練ゲームの特徴

- ①作業手順が1人で訓練できる
- ②部品などのイメージが湧き易い
- ③作業手順が体系的に憶えられる
- ④操作が簡単で素人でも扱える

3.4.2 作業手順訓練ゲームの流れ

作業手順訓練ゲームは図8の流れで行われる。学習者は作業指導である「インストラクション」を見て、記憶すべき作業の手順を知る。学習者が覚えたかと判断すると、手順を確認する「テスト」へ移る。テストでは、テスト時間とエラー回数が判定がなされ、パソコンが可否を知らせる。この様に学習者は、インストラクションとテストを繰り返し、一定の習得度を得る。

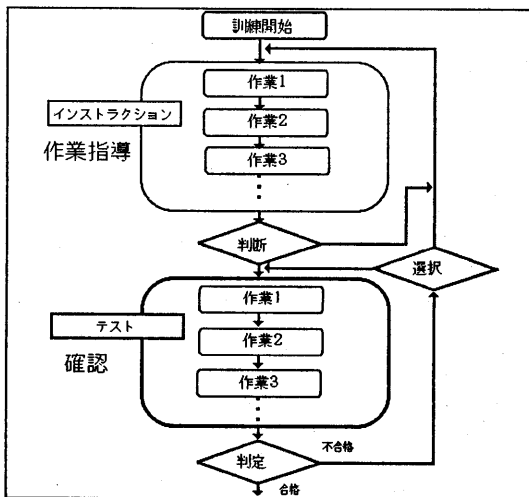


図8:作業手順訓練ゲームの流れ

4 検証

4.1 実験

作業手順訓練の有効性を検証する事を目的として、総合部品メーカーS社のあるユニット製造ライン(図9)の一部を対象に、実験を行った。このラインはタクトタイム190秒、工程数は9工程である。

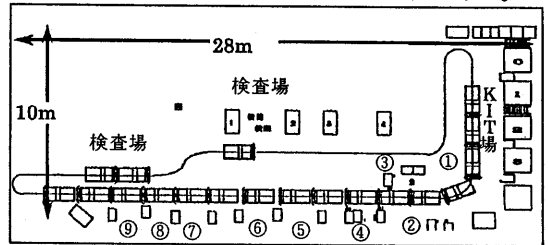


図9:組立作業実験場のレイアウト

対象とした工程は、比較的スキルが必要でない2工程を選択した。それぞれの属性を表9に示す。

表9:対象工程の属性

	A工程	B工程
部品点数	41個	33個
部品種類	20種類	15種類
標準時間	166秒	106秒

被験者は、S社の対象作業に経験のない男子6名(19~40歳)を採用した。まず、6名を作業特性の差のない2つのグループに分けた。作業経験は、玄人をH、素人をL、その中間をMとクラス分けした。表10にグループ分けの結果を示す。

表10:グループ分け結果

グループ	ベテラン ←-----→ 素人		
グループ1	H①	M①	L①
グループ2	H②	M②	L②

検証実験は、図10の通りに2つのグループを2つの工程で実施した。被験者間の差を相殺するために、一方では訓練を行うコントロール・グループを、他方では行わないテスト・グループに属するよう計画した。

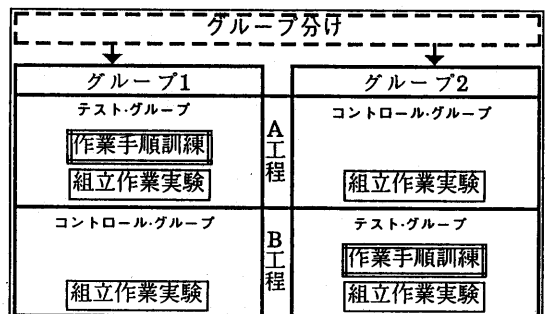


図10:実験の流れ

3.2 分析

3.2.1 訓練時間と組立作業時間

生産台数と各グループ3人の組立作業時間の合計との関係を図11に示す。この結果からテストグループは、コントロールグループよりも標準工期の約15台分(4215人・秒)得たことが分かる。

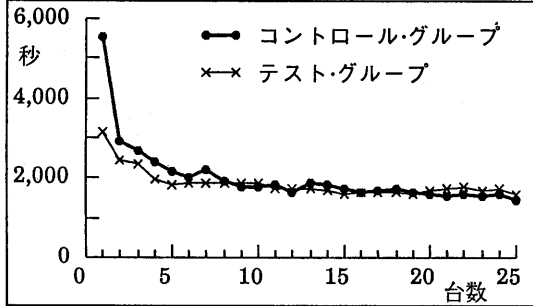


図11:台数と組立作業時間の関係

訓練時間は、図12のようになった。工程別の平均ではA工程が6606秒、B工程が4274秒であった。標準時間が長いA工程のほうが訓練時間も長かった。

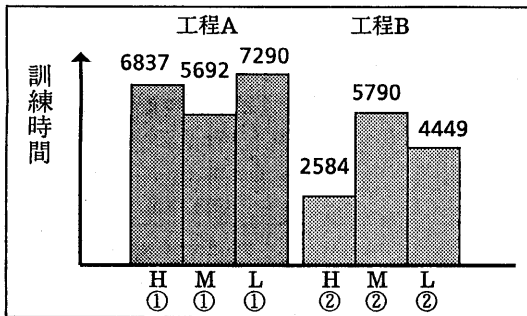


図12:訓練時間

今回の実験では、訓練時間と作業時間を合計した時間は、残念ながらテストグループが損をする結果となった(図13)。

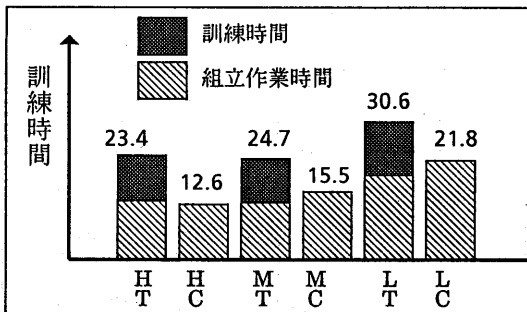


図13:訓練時間と組立作業時間

3.2.2 個人別のサイクルタイムの分析

各グループの被験者を個人別に比較するために、工程Aに工程Bの標準時間/工程Aの標準時間を乗算

し、レイティングを行った(図14)。図14から明らかなように、初期の習熟段階に差が見られた。

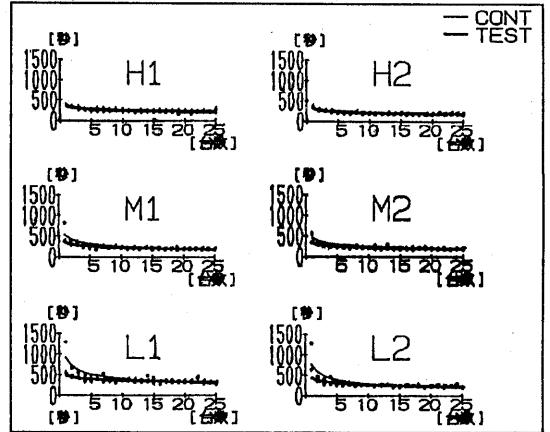


図14:サイクルタイムの結果

各被験者のサイクルタイムを回帰し、その回帰係数の関係を図15に示す。この図より、①作業経験が少ない素人に近いほど訓練の効果が大きいこと。②訓練を行うことより、M-Lクラスの作業者はHクラスに近づく事が分かった。これらの結果から、女人作業者は本訓練の必要はなく、簡略化した訓練方法が必要であることが分かった。

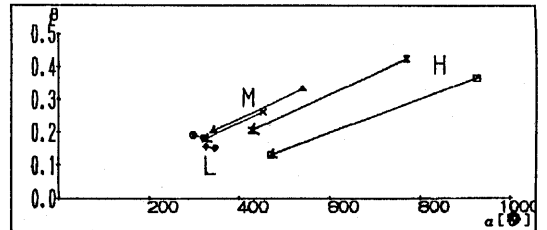


図15:回帰の結果

3.2.3 手順時間とスキル時間の分析

訓練の効果がどこに現れるかを分析するために、平均的な被験者M①とM②を対象に、手順に関する作業とスキルに関する作業を分類した(図16)。この結果から、サイクルタイムの習熟は、手順の習熟にバラツキは、スキルのバラツキに強く影響を受ける事が分かった。バラツキを抑えるには、スキル訓練が必要である事が分かった。

3.2.4 部品別の習熟傾向の分析

部品別の習熟傾向を分析するために、3.3.3と同様の被験者に対して、VTR分析を行った。この結果から2つのパターンが確認された。

(1)パターン1:連続した作業

図17の例の場合、「シュートDP」を取りつけ、「スクリュー」で止め、次に「モータバドル」を

表9:システムの定性的評価

- ①操作が簡単で素人でも扱える
 - ②作業手順は作業員1人で訓練できる
 - ③組立作業の体系的訓練で容易に作業が憶えられる
 - ④ハードウェア購入に約100万円かかる
 - ⑤システムは約2カ月間でコーディングできる
 - ⑥訓練ゲームの準備工数が少ない
- (対象作業は約4時間で準備できた)

4 おわりに

本研究から次の結論を得た。

- ① 市販のハードウェアを組み合わせ、作業手順訓練システムを開発することができる。
- ② 手順訓練は、作業開始時の作業習熟を促進する。
- ③ 手順訓練の効果は、経験の少ない作業員を玄人の作業員レベルに近づけることができる。

また、3.2.4で述べている「与える情報についての検討」と動画や音声を利用する「情報を与える方法についての検討」が今後の課題として考えられる。

参考文献

- (1)師岡 孝次 「習熟性工学」 建帛社 1960年
- (2)五十嵐 瞭 「多品種少量生産企業の経営管理改善」 日刊工業社 1984年
- (3)金沢 孝 「現場中心の生産管理システム」 日刊工業新聞社 1990年

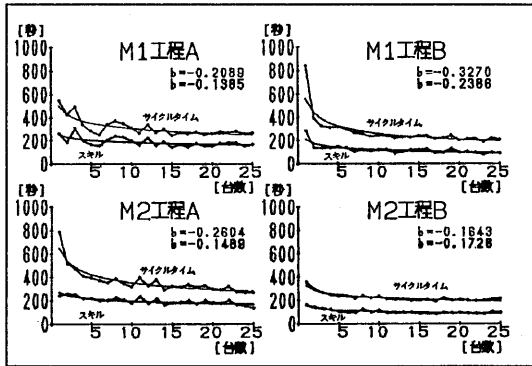


図16:手順時間とスキル時間の関係

取りつける3つの一連の作業を表している。図17より、被験者が「シュートDP」を取りつくと、次にスクリーンで止めることを数回で記憶している事が分かる。これは、次の「モータパドル」よりも習熟傾向が見られない事から明らかである。

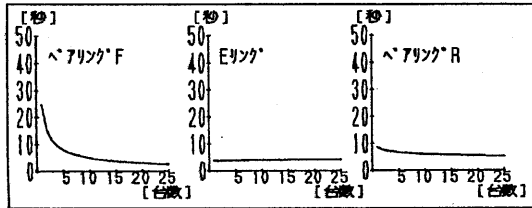


図17:連続した作業

(2)パターン2:ベアリーの作業

図18の場合は、「ベアリングF(フロント)」「Eリング」「ベアリングR(リア)」の作業の例である。この例では、ベアリングのフロントとリアがベアリーになっている事から、リアは数回で記憶され初期値が小さくなっている。

この2つのパターンの様に、被験者が作業をユニット化して記憶している事によって、訓練のステップ数を減少できる可能性が立証された。これによって、さらに訓練時間が短縮される事が分かった。

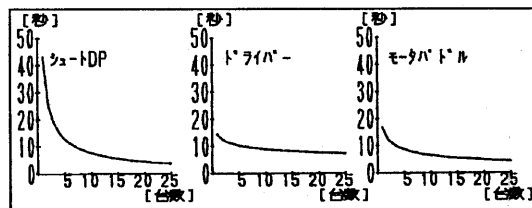


図18:ベアリーの作業

3.3 システムの定性的評価

システムの定性的評価として、表9のような声挙がった。