

新人プラント運転員に規定作業の遂行を身につけさせる トレーニングマニュアルに必要な要素の検討

Requirements of a training manual for acquiring basic ability
with the exhaustive operation for novice plant operators
: an exploratory study

岡山大学	山岡 晟造	Seizo YAMAOKA	Not a Member
岡山大学	五福 明夫	Akio GOFUKU	Member
岡山大学	杉原 太郎	Taro SUGIHARA	Not a Member

In recent years, human resource development in the field of plant operation has become one of the major problems. The development of novice plant operators and core human resources is an important matter. However, it takes a large time and effort. This study aims at saving time and effort required for the human resource development by identifying requirements for novice plant operators to carry out exhaustive operation. In accordance with that, this study analyzes omissions of tasks in an operation experiment of a semi-scale thermal power plant emulator. The contents in omissions of tasks are task skipping, not pointing, not sitting on a chair in panel operations, and postponing tasks. The analysis results identify the details and factors of work that are hard to be fixed to novice plant operators. Furthermore, this study explores requirements of a training manual for acquiring basic ability with the exhaustive operation for them.

Keywords: novice plant operators, omissions of tasks, development of plant operators, operation manual, training manual

1. 緒 言

近年、プラント運転の現場においては、熟練運転員の高齢化といった観点から、人材育成は大きな課題の1つである[1]。プラント運転員に対する訓練は、OJT（業務を交えた訓練）やシミュレータ訓練によるものが主となっている。しかしOJTは、訓練者だけでなく指導者にとっても業務との両立が難しく、うまく機能していない場合が多いと考えられる。新人運転員や中核人材の育成は重要事項であると同時に、時間や手間が大きくかかるタスクである。

運転員が事前にプラントに関する熟達した知識を有していることもあり、プラント運転において使用されるマニュアルは簡素な文章での記述が大半である。しかし新人運転員は知識を有しているといえども、実際のプラントを運転した経験は乏しく、プラント運転について精通しているとは言えない。また、団塊世代の大量離職問題から、ノウハウなどの技術伝承が急務となっている[1]。しかし、ノウハウは経験や勘によるところも大きく、習得するには一通りの知識を有している必要があると考える。よって、まずは一通りの現場操作に耐えうる新人を増やすことが、今後のプラント業界全体にとって有益と考えられる。そのため、まずは少なくともマニュアル通りの操作ができるよう、新人を育成する必要がある。

マニュアルの中には見落としやすい項目や実施し忘れが生じやすい項目、すなわち新人にとって身につけにくい項目がある[2][3]。マニュアル通りの操作を行える新人育成を実現するには、規定通りに作業が遂行されていない箇所や内容を分析し、それらを身につかせるよう工夫する必要がある。そのため新人に身につけやすいトレーニングマニュアルを活用して訓練することが、新人育成の観点からは良いと考えられる。

そこで本研究では、ボイラー型の発電プラントのシステムを模擬した実験室レベルの装置（模擬ボイラー発電プラント）の操作実験におけるタスク抜けの分析を行うことで、育成課題である新人運転員に定着しづらい作業内容を調査した。さらに、調査結果を元に新人訓練に向けたトレーニングマニュアルに必要なとされる要素を検討した。

2. 対象者の定義および対象機器

2.1 対象とする運転員

トレーニングマニュアルの使用者として考えられる操作員は、新人運転員だけではない。装置の更新によって変更された操作や装置の位置などを理解するための限定的な期間中の熟練運転員なども、本来はトレーニングマニュアルの使用者となる。しかし、本研究ではトレーニングマニュアルの対象者はプラント全体の知識・スキルが不足している点が操作の

連絡先:山岡晟造
岡山大学大学院自然科学研究科
〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1
E-mail: yamaoka.s.mif@s.okayama-u.ac.jp

身につにくさに関係していると考え、新人運転員を対象とする。ここでの新人運転員とは、経験年数が低く、プラントのたまかな概要は理解しているが、個々の機器やその役割についてはあまり理解していない操作者とする。

2.2 対象とする機器

本研究において対象とする操作機器は、実機と操作盤から成る模擬ボイラー発電プラントである。通常の火力発電プラントのボイラーでは蒸気を発生させるが、模擬ボイラー発電プラントでは温水を生成するプロセスで代替している。蒸気の代用に温水をタービン復水器部に供給し、そこで温水を冷却し、冷却された水は給水ポンプに戻る。以上より、ボイラー型火力発電プラント操作における作業を再現することが可能である。本研究では、プラントの起動前準備からポンプ運転までの操作を対象とした。

3. タスク抜けの分類結果および考察

3.1 操作実験におけるタスク抜けの分類

3.1.1 タスク抜け率推移

新人運転員が身につけづらい作業の内容を調査するため、参加者のタスク抜けの分類を実施した。著者らがこの本研究に先立って取り組んだバイオレーションに関する研究[2]における、模擬ボイラー発電プラントの操作実験をタスク抜けの観点から再分析した。この実験では、参加者10名が本文と備考欄から成る操作マニュアルを用いて、模擬ボイラー発電プラントを6回ずつ操作している。操作内容はプラントの起動前準備からポンプ運転までであり、作業毎にタスク系列で区切られている。参加者には操作作業後の状態確認や、数値・状態などの確認作業の際に指さし呼称を義務付けている。また、不安定な動作を避けるために操作盤を操作する際に椅子に座ること、マニュアルの流れ通りに作業を行うことも義務として指示している。

上記の実験で発生したタスク抜けについて、マニュアルの記載箇所別に内容別タスク抜け率（タスク抜け数/タスク抜け発生機会数）の操作回数に対する推移をまとめた。Fig.1に本文における内容別タスク抜け率推移、Fig.2に備考欄における内容別タスク抜け率推移を示す。

タスク抜けとして数えた内容は、タスクそのものを飛ばしたことの他に、上記の義務付けた作業である指さし呼称、操作盤作業における椅子への着席、マニュアルの流れ通りの作業を行わなかった場合、すなわちタスク順番の後回しが含まれている。また、実験1回における参加者一人あたりのタスク抜け発生機会数は、本文記載タスクが33回、備考欄記載タスクが30回となっている。

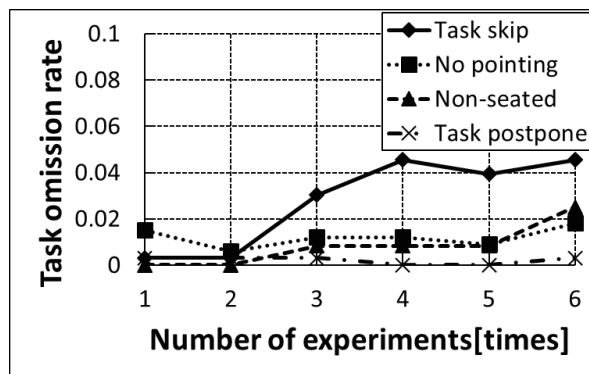


Fig.1 A transition of task omission rate in the text

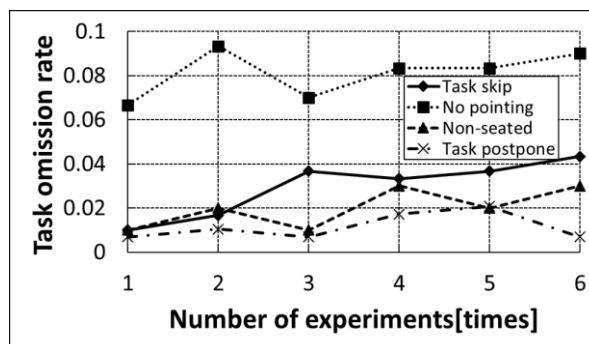


Fig.2 A transition of task omission rate in the remarks column

Fig.1, 2の指さし呼称の不実行の結果からは、本文・備考欄ともに実験回数を増やすに連れて増加する傾向が見られた。タスク飛ばしは本文・備考欄ともに実験回数による影響は確認できず、備考欄で多く発生していることが分かる。椅子への不着席は本文・備考欄ともに実験を重ねるに従ってわずかながら増加する傾向が見られた。タスク順番の後回しは本文ではほぼ見られず、主に備考欄で見られた。

Fig.1, 2よりタスク抜けの中でも発生頻度が高く、かつ回数による影響がなかったタスク飛ばしについて着目し、タスク飛ばしが高頻度で発生しているタ

スクを分析した。ここでは、タスク飛ばしが合計 10 回以上発生しているタスクを、タスク飛ばしが高頻度で発生しているとした。分析の結果、ボイラーに水を張る際の実機のモーターバルブ全開確認(10回)および全開再確認(31回)、モーターバルブを閉じた後の操作盤でのボイラー水位確認(14回)、操作盤での流量表示確認(12回)、操作盤でのモーターバルブ全開再確認(22回)、補助給水ポンプを運転するために補給水前弁を開けた後のバルブ漏れ確認(11回)、給水後弁を開けた後のバルブ漏れ確認(10回)という 7 つのタスクが確認された。上記のタスクは全て備考欄記載の確認タスクである。

上記の高頻度タスクにおけるタスク飛ばしの合計は 110 回であった。タスク飛ばしの全体の合計が 170 回であることから、タスク飛ばしは全タスク 63 の内 7 つのタスクに約 65% が集中していることが分かる。この結果および Fig.1, 2 から、他のタスク抜け内容と比べても、タスク飛ばしはいくつかの備考欄記載タスクに局所的に集中しており、本文記載タスクでの発生割合が少ない傾向が見られる。

3.1.2 タスク抜けの上位下位分析

タスクの身につかなさを考慮する上で、その原因が個人属性によるものか、タスク属性によるものかを考えることは重要である。ここでは個人性に着目して、指さし呼称の不実行数の上位グループと下位グループに分けて分析した。Fig.3 に参加者 10 名の個人別の指さし呼称の不実行数を示した。図に示す通り、個人によって不実行数が大きく異なっている。

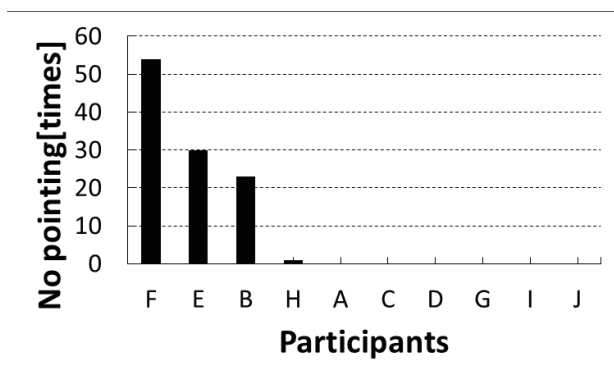


Fig.3 Number of no pointing for 10 participants

Fig.3 より、参加者 B と H の間で大きな差が認められることから、参加者 F, E, B を上位グループ、

その他の参加者を下位グループとした。両グループにおいて、その他のタスク抜け内容であるタスク飛ばし、椅子への不着席、タスクの後回しについてグループ内でクラメール連関係数を用い、同グループ内における参加者のタスク抜け傾向の関連の有無を分析した。また、クラメール連関係数を用いるに当たり、同一タスクのタスク抜けが 0 である場合計算不能となるため、タスク抜け回数をクラス分けした。ここでは 54 を 9 等分している。クラス分けしたデータに対してクラメール連関係数を求めた結果、上位と下位の両グループ共に関連はほぼ見られなかった。

次に、参加者をタスク抜け数上位 40% と下位 40% のグループに分け、各タスク抜け内容の平均値をレーダーチャート化した。参加者のタスク抜け数をまとめたものを Table1 に示す。

Table 1 A list of total task omission of 10 participants

参加者	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
タスク抜け数[回]	36	35	27	21	73	86	18	6	15	13

Table1 より、上位 40% に該当した参加者は A, B, E, F であり、下位 40% に該当したのは G, H, I, J であった。また、レーダーチャートを用いるに当たり、各タスク抜け内容間で回数之差が大きく、グラフが歪になる可能性があったため、値のクラス分けを実施した。ここでは 27 を 9 等分している。得られたレーダーチャートを Fig.4 に示す。

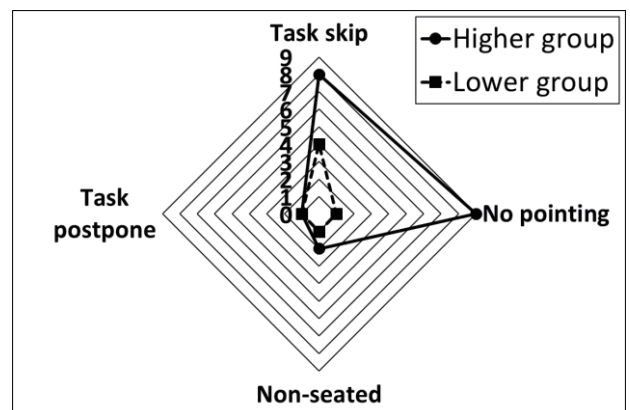


Fig.4 A Radar chart of task omission by Higher and Lower group

Fig.4 より、下位グループではタスク飛ばしが特に

多く、上位グループではタスク飛ばしと指さし呼称の不実行が多い。また両グループ共に、特に多いタスク抜け内容以外のタスク抜けは少なかった。

3.2 タスク抜け内容に対する考察および対策案

3.1 節で示したタスク抜け内容の分析を踏まえ、個人間および全体でのタスク抜け内容の関連、各タスク抜け内容についての考察を以下に述べる。

・個人間でのタスク抜け内容の関連

3.1.2 節で言及した通り、指さし呼称の不実行数に関する上位・下位グループにおいて、個人間での他のタスク抜け内容における関連は特に見られなかった。この結果から、タスク飛ばし、椅子への不着席、タスクの後回しは、連動して変動するようなエラーのカテゴリになっていないことが分かる。そのため、各タスクに対して独立した対策が必要であると考えられる。

・全体でのタスク抜け内容の関連

3.1.2 節で言及した通り、タスク抜け回数上位・下位グループにおいて Fig.4 より、タスク飛ばしが多いという点において両グループは共通している。また、指さし呼称の不実行がタスク飛ばしと同程度に多いか否かという点で、両者のレーダーチャートの形に差異が生じていることが分かる。この結果から、タスク抜けを多く起こすか否かは、義務作業、特に指さし呼称を遵守する傾向にあるか否かで、差が生じていると考えられる。また、義務作業を遵守できている参加者であってもタスク飛ばしを多く行ってしまうことから、タスク飛ばしを防ぐには他のタスク抜け内容への対策と比べて、より強い効果を期待できる対策が必要であると考えられる。

・指さし呼称の不実行

Fig.1, 2 より、実験回数を追う毎に不実行回数が増加し、本文・備考欄共に同様の増加傾向を示している。また Fig.3, 4 より、指さし呼称の不実行はタスク抜けを多く起こしている特定の参加者に集中し、不実行を行わない参加者はその回数がほぼ 0 に近いということが分かる。すなわち、指さし呼称の不実行は特定のタスク抜けを多く起こす参加者が頻繁に起こし、実験回数が増える度、基本的に不実行の回数も増加していく。

上記の結果について、指さし呼称を行わなかった

にも関わらず作業進行に影響が出なかったことで、指さし呼称の重要度を低く位置づけ不実行が増加したこと、作業ミスとそれに伴う事故を未然に防ぐという指さし呼称を行う意義が特定の個人に根付いていなかったことなどが、原因として考えられる。ただし上記の原因について、これらは意図的なものではなく、前回実施した作業方法で問題が起きなかったため今回も同様の方法で作業を進めようとするといった、消極的な故意による行為と考えられる。このことについて Reason は、手順書違反は、さまざまな理由で行われる可能性があるが、通常、安全手順書、ルール、規則からの、意図的ではあるが悪意のない逸脱と述べている[4]。すなわち、多くの手順書違反は積極的に逸脱しようとするものではないと言え、今回の結果と整合的と考えられる。また上記の不実行には、失念といった故意ではない原因も含まれていると考えられる。

対策として、指さし呼称を行う必要性について、参加者に対しより明確に意識づけをさせることが挙げられる。技術的な介入による具体案として、マニュアルを電子化して指さし呼称が抜けやすい項目を強調する機能を実装することなどが挙げられる。

・タスク飛ばし

どの参加者においても、タスク飛ばしの数が 0 である者はいなかった。また、実験回数による影響は見られず、いくつかのタスクに局所的に集中している傾向が見られた。タスク飛ばしが集中しているタスクは備考欄記載のものであり、Fig.1, 2 から見ても分かるように全体的に本文よりも備考欄で多く発生していることが分かる。

タスク飛ばしの数が本文・備考欄で異なる原因について調査するにあたり、実験で用いられたマニュアルを作成した松原の研究[5]における備考欄記載情報の分類を以下に示す。

- a. 手順書の操作に必要な事前条件
- b. 手順書の各操作結果が異なった場合の対応
- c. 緊急時の操作
- d. 手順書の各操作についての説明
- e. 手順書の各操作実施後の目安となる情報（操作前後の確認も含む）
- f. 手順書の操作を行う上でのポイントやアドバイス

実験では、実験 6 回目において参加者に異常時対応を体験させた場合を除き、プラントが異常状態と

なることはなかった。そのため備考欄に記載された情報の内、実行するタスクとして記載されている情報は、上記の分類において実質的に全て e に該当する。すなわち、飛ばされた備考欄記載タスクは全て e に当てはまる。このことから、タスク飛ばしは操作前後の確認のような、実行せずとも作業進行に重大な影響を及ぼすことはなく、万が一の状況を未然に防ぐ、あるいは察知するための役割が強いタスクで多発していると言える。

本文記載タスクは作業進行に重大な影響を及ぼすものが多い一方で、備考欄記載タスクは操作前後の確認タスクが大半を占め、実行しなかったとしても作業進行に対して直接的に重大な影響を及ぼすことはない。この違いが、上記のようなタスク飛ばし数の違いに影響を及ぼしたと考える。ただし指さし呼称の不実行に対する考察で述べた内容と同様に、備考欄記載タスクに対し重要性を認識したうえで積極的に飛ばしたという訳ではなく、備考欄は意図的ではあるが悪意なく飛ばされやすいと考える。

また文章配置の観点から、忘れていた、見逃したといった要因も、備考欄記載のタスクにタスク飛ばしが多い理由として考えられる。実験で用いたマニュアルは本文と備考欄を行き来して見る必要があり、また備考欄は本文と比べて記載が密である。加えて備考欄には前述した a~f の要素を持った情報が記載されている。そのため、瞬時にどの記載が実行すべきタスクであるかということ把握しづらく、また異常手順などの他の情報と混同して実行すべきタスクを見逃す可能性が大いに考えられる。

上記より、作業進行に重大な影響が出ないと判断され、意識されづらいタスクや記載の関係上見逃ししやすいタスク、あるいはその両方の性質を持つタスクが特に飛ばされやすいと考えられる。対策として、意識されづらい、見逃されやすいタスクを極力省略させないように働きかける必要がある。技術的な介入による具体案として、指さし呼称の不実行への対策で述べた内容と同様に、マニュアルの電子化による強調機能の実装が挙げられる。

・椅子への不着席

Fig.1, 2 より、実験回数を追う毎に微かながら増加傾向が見られる。しかし、不着席を行っていないのは 10 名中 2 名であった。不着席発生の要因は、指さし呼称の不実行と同様に、ひとたび不着席をして

もその後の作業に影響が出なかったことで繰り返されたと考えられる。対策として、指さし呼称と同様に義務作業であることから、実行する必要性を明確に意識づけることが挙げられる。技術的な介入による具体案として、待機状態にある操作盤の画面に「確認・操作の際は着席をすること」といったメッセージを表示させておく機能が挙げられる。

・タスク順番の後回し

Fig.1, 2 より、本文ではほぼ確認されず、主に備考欄で発生していた。また発生した数は全 24 回であり、そのうち 4 つが本文記載タスクで起こり、残りは全て備考欄記載タスクで発生していた。これはタスクと飛ばしと同様に、記載の把握しづらさによりタスクを見逃し、後から気づいてタスクを実行した、あるいはタスク順番をさほど意識していなかったことが原因として考えられる。

対策として、タスクの順番を明確に意識・把握させる必要がある。技術的な介入による具体案として、最初の数回の実験において、マニュアルの電子化を用いて次に実施するタスクを強調する機能や、タスク内容を省きタスク概要のみが作業順通りに書かれた表を挿入、あるいは添付するといったものが考えられる。なお、最初の数回の実験で適用としたのは、トレーニングマニュアル使用者には最終的に通常マニュアルでタスク抜けなく作業を遂行してもらうことを目的としているためである。そのため、マニュアルに技術的介入を行う案を提示している指さし呼称の不実行、タスク飛ばしについても同様のことが言える。

4. トレーニングマニュアルに必要な要素

本研究のトレーニングマニュアルは、備考欄記載タスクや指さし呼称などの確認作業および規則を使用者に遵守させ、また上記の規則やマニュアル記載内容の失念を防止することが必要となる。3 章の結果と考察より、規定通りの作業遂行を新人に促すトレーニングマニュアルに必要な要素を以下に示す。

・義務作業の意識づけ、本質理解、失念防止

例：電子マニュアルを活用した表示

指さし呼称などの義務作業について、これらは本来、文章記載といった作業指摘が成されずとも実行されることを望まれる作業である。また作業進行に

直接的な影響を及ぼさないため軽視されやすいが、事故やミスを防ぐという点において重要な作業である。義務作業において、特に指さし呼称は全てのタスクに対して行われる。そのため、マニュアルに記載されているタスク全てに、指さし呼称に対する文章を用いた注意喚起を表示することは現実的ではない。加えて、タスク抜け発生時に注意喚起のポップアップを表示するような機能の場合、懲罰的に捉えられ、使用者の作業に対する意欲を削ぐ恐れが考えられる。

また3.2節の考察より、指さし呼称の不実行は、前回の作業方法で問題が起きなかったため今回も同様の方法で作業を進めようとするといった、意図的であるが悪意のない逸脱、あるいは意識しておらず失念していたといったことが、特定の数名に起きたと考えられる。不実行の少ない参加者は他のカテゴリもタスク抜けは0に近く、上述したように不実行を多く発生させている参加者に悪意があるとは考えづらい。そこで不実行を防ぐには、不実行を行った参加者に不実行を行っていた事実を認識させることが有効であると考えられる。

上記の懲罰性の影響と指さし呼称の不実行の悪意のない逸脱性の観点から、指さし呼称の不実行には、不実行を行った者に対し、懲罰的にならないよう作業終了後に不実行が発生していた箇所を指摘することが有効であり、作業後の指摘表示がトレーニングマニュアルに必要であると考えられる。

・タスク飛ばし、後回しを抑制する働きかけ
例：チェックボックス

タスク飛ばしおよび後回しは回数の観点から、防止するにあたって特に備考欄記載タスクでの発生に対策を講じる必要がある。備考欄に記載されているタスクは補助的な作業であり、また記載位置の関係から見逃されやすい。そのため、タスク遵守を念頭に置いているトレーニングマニュアルでは、使用者に備考欄記載タスクを認識させることが重要であると考えられる。すなわち、備考欄記載タスクを使用者に確実に見せるための働きかけが、トレーニングマニュアルに求められる。また、確実に見せるという機能は懲罰的に捉えられることも考えられるが、3.2節で言及したように、タスク飛ばしは義務作業を意識できている者であっても起こしてしまうことから、

強く意識させる必要があると考え、多少懲罰的に捉えられ得る点があったとしても問題はないと考える。

5. 結 言

本研究では模擬ボイラー発電プラントの操作実験におけるタスク抜け内容の分類を行い、経験の浅い新人運転員がミスしやすい、または新人運転員に定着しづらい作業の内容や要因をまとめ、考察を行った。またそこから、規定通りの作業を新人運転員に遂行させることを目的としたトレーニングマニュアルに必要な要素を検討した。

参考文献

- [1] 経済産業省: “2007 年版ものづくり白書本文”, 2007 年版ものづくり白書 (ものづくり基盤技術振興基本法第 8 条に基づく年次報告), 経済産業省 (2007)
- [2] 山岡晟造, 杉原太郎, 五福明夫: “プラント運転における手順の不遵守に結びつく要因の実験的探究”, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016 論文集, pp.449-454 (2016)
- [3] 北岡朋展, 山岡晟造, 杉原太郎, 五福明夫: “プラント運転における繰り返しタスクと移動距離が面倒さど手順の不遵守に及ぼす影響”, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.19, No.5, pp.47-52 (2017)
- [4] J. Reason: “組織事故とレジリエンス”, 株式会社日科技連出版社, 東京, pp.60 (2015)
- [5] 松原貴史, 五福明夫, 杉原太郎: “手順書の備考欄の情報の不足が及ぼす初級プラント操作者の操作パフォーマンスへの影響の実験的評価”, ヒューマンファクターズ, Vol.2, No.2, pp.48 (2016)

(平成 29 年 6 月 30 日)