Japanese Journal of Applied Psychology
2008, Vol. 33, No. 2, 94-102

原　著

機器配列空間内の実際移動における Alignment Effect

—プラント盤面操作の模擬課題を用いて—[1), 2)]

太刀掛俊之*・臼井伸之介**・篠原一光**・松井裕子***・三浦利章**

Alignment Effect of Real Movement in Machinery Configuration Space

—With Modeled Tasks in a Plant Setting—

Toshiyuki TACHIKAKE*, Shinnosuke USUI**, Kazumitsu SHINOHARA**,
Yuko MATSUI***, and Toshiaki MIURA**

Movement errors in large-scale plants induce unexpected results, such as interrupting machinery operation. The purpose of this study is to experimentally investigate the causes of these errors occurring in machinery configuration space from two aspects, alignment and paths. Alignment is defined as matching of orientations between an original machinery configuration map and the direction of movement at start points. Paths are composed of translation, rotation and combinations of these two movements. Results show that movement errors increase in machinery configuration space when orientations between the original map and directions of movement at start points differ, i.e. alignment effect, and that rotation component may affect the occurrence. The overall error rate of real movements is low, but this method of manipulating these factors is valid for finding an appropriate machinery configuration to prevent human errors in tasks that involve real movements.

key words: spatial cognition, alignment effect, configuration, human error

問　　題

日常生活や現場作業の多くは空間における人の移動を伴っているが，空間内の対象の位置関係を誤り，トラブルが発生することがある。例えば，独立行政法人原子力安全基盤機構がまとめた発電所のトラブルとして，大規模プラント内の間違った行き先での作業が，機器の停止といった意図しない結果を生じさせるという事象が報告されている。人間の移動は，学習によって得られた空間の知識構造である

1) 本研究の一部は，日本心理学会第66回大会(2002)にて発表された。
2) 本研究は，株式会社原子力安全システム研究所平成12年度共同研究『方向認知におけるヒューマン・エラーと視覚的注意に関する研究』(研究代表者：三浦利章）の一部である．本研究の計画と実施において，関西電力株式会社 福井宏和氏・塚田哲也氏から多大なる援助と有益なご助言をいただきました．また，実験実施において，大阪大学大学院人間科学研究科 木村貴彦氏・労働安全衛生総合研究所 石松一真氏から快く協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

* 大阪大学安全衛生管理部
Department for Administration of Safety and Hygiene, Osaka University
** 大阪大学大学院人間科学研究科
Graduate School of Human Sciences, Osaka University
*** 株式会社原子力安全システム研究所社会システム研究所
Institute of Nuclear Safety System, Inc., Institute of Social Research

空間表象を利用しており，正確な定位と移動を導く標識類の整備（株式会社原子力安全システム研究所技術システム研究所，2001）とあわせて，空間表象に基づいた移動の特性を理解することは，空間の移動を伴う作業エラーを防止するうえで重要である。

本研究においては，空間表象の特性に起因する Alignment Effect（整列効果，もしくは整列性効果）に注目した。Alignment Effect とは，Levine, Jankovic, & Palij (1982) によって実験的に示された現象であり，地図や実際環境等を用いて空間配列を学習した後，空間内の対象についての方向判断を行う場合，学習時における空間配列の向きと，方向判断の基準となる向きの一致性により，課題パフォーマンスが異なる現象である。つまり，学習により初期に獲得された空間配列の向きに身体の向きを合致させて，対象の位置関係を判断するよりも，初期に獲得された空間配列の向きとは異なる方向に身体を向けて，対象の位置関係を判断するほうが難しい。例えば，北向きの地図を学習した場合，身体を北に向けている状態よりも，身体を南に向けた状態で進行すべき目的の方向を判断するほうが難しいと考えられる。

Alignment Effect は実際の移動時においても認められる。Kantowitz, Triggs, & Barnes (1990) は，産業場面において，プラント内の機器配列図と作業者の身体方向との不整合を起因とする間違った移動により，作業者が稼動中の変圧器に触れて負傷した事例を指摘している。特に，発電所のようなプラントの内部では，同形の機器が整然と並んでいて見分けがつきにくいことや，盤面が向かい合わせに配置されていて身体の向きの転換が必要になることがある。つまり，見通しが悪く，かつ均質な特徴を持つ空間において移動する必要があるため，作業者が獲得した空間表象の特性が，行動の意図形成と遂行段階に少なからず影響を及ぼすことが予想される。しかしながら，機器配置を想定した空間配列内を移動する実験的手法を用いて，Alignment Effect が間違った移動の生起に関わっているか否かを検討した知見はこれまでにない。

一方，日常生活場面では，実際移動における Alignment Effect は，避難経路図の掲示方向と緊急避難行動との観点から論じられ，環境と避難経路図の向きが合致していない場合に間違った方向へ移動が誘導されやすくなることが知られている（天ヶ瀬，1995；上野，1999；尾入，1997）。従来の研究では，避難経路図の読み取りとそれに続く移動の課題は交互に遂行されているが，産業場面では，移動を繰り返す状況が多い。このため，すでに記憶された空間配列に従って，同一空間内において連続移動を行っている場合において，Alignment Effect が存在するか否かを実験的に明らかにする必要がある。

ところで，人間の空間移動の構成要素として，並進 (translation) と回転 (rotation) を挙げることができる。すなわち，前者は移動の前後において，身体が面する向きが変わらず，位置のみが変化する移動要素である。また，後者は身体が面する方向が変化し，位置は変化しない移動要素である。本研究では，最初に学習した空間配列の向きと同じ方向から移動を開始する条件（整列，alignment start）と，最初に学習した空間配列の向きと正反対の方向から移動を開始する条件（反整列，contra-alignment start）を設定したうえで，並進と回転の移動要素が，移動特性に如何なる影響を及ぼすかを明らかにする。Presson & Montello (1994) は，移動をイメージするという課題において，2 種類の移動要素から空間表象の特性に注目した結果，回転の移動要素は並進の移動要素と比較して，認知的な負荷の高いことを示した。Alignment Effect が認められる場合，反整列の状況にある現在地からの空間移動に対しては，初期に獲得した空間配列の向きとは異なる方向に身体を向けており，認知的な負荷がすでに高まっている。このことから，次の目的地への移動において，回転の移動要素が含まれる経路では，並進の移動要素のみによって構成される経路よりも移動エラーが多くなると予想される。

本研究は，人間の移動特性と空間配列との関係について示唆を得るために，以下の 2 点について検討を行う。第 1 に，産業プラントを想定した同一空間配列内の移動を繰り返す状況において，移動エラーにおける Alignment Effect を実験的に示すこと，第 2 に，移動エラーの生起メカニズムを，Alignment Effect に加えて，移動要素の分析を通して解明すること，である。

なお，本研究ではプラント内の作業空間を模擬した比較的狭い環境を，実際に構築した。そして，最

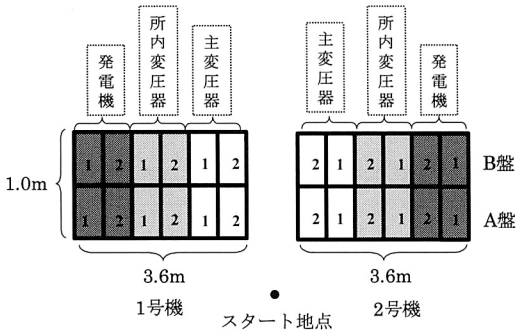

Figure 1　操作盤配列図：A4 サイズに印刷された図面を被験者に提示した

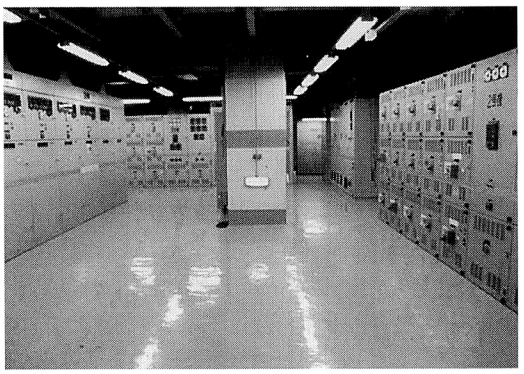

Figure 2　実際のプラント内における機器配列空間

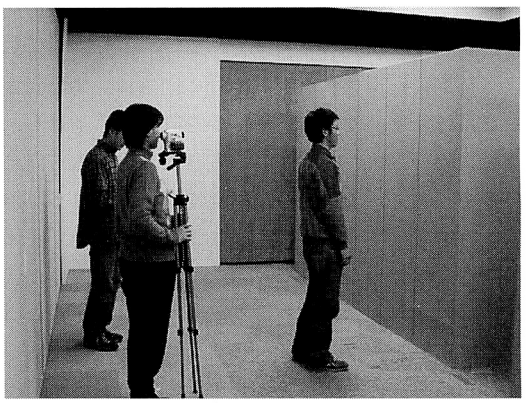

Figure 3　実験環境と機材

初に学習した空間配列の向きと移動開始地点の向きが同じ場合（整列），逆の場合（反整列）での，目的地の位置と移動経路の決定に要する時間と，目的地までの移動の正確さについて比較，検討した。また，目的地の移動経路に関しては，移動要素の分析を行うために，2 種類の移動要素もしくはその組み合わせが等しく含まれるように操作した。

方　　法

1. 実験協力者

実験協力者は大学生および大学院生を中心とする 12 名（男性 7 名，女性 5 名）であった。実験協力者の年齢は 22 歳から 23 歳までの間で，平均年齢は 22.3 歳であった。

2. 実験材料

配列図：各ユニットにおいて，合計 12 の操作盤が一定の規則に従って空間内に配列された A4 サイズの図面である。Figure 1 は，操作盤の配列関係を示している。1 号機，2 号機と呼ばれる二つのユニットが左右に配列され，各ユニットは作業場面において実際に使用されている「発電機」「所内変圧器」「主変圧器」と命名された操作盤によって構成された。操作盤の配列は，実際に使用されているタイプの一つを採用し，ユニットに対して左右対称となるミラー型とした。

操作盤：室内空間 (6,400 mm×9,900 mm) 内において，各ユニットの原寸模型を作成した。各ユニットは 1,000 mm×3,600 mm×2,200 mm のサイズであった。過去に行われた同様の実験では，実際に使用される操作盤の写真を利用して，操作盤名称と操作盤の特徴を明示したが，移動エラーにおける発生率が極めて低くなる結果となった（三浦・臼井・篠原・塚田・福井・石松・木村・鶴原・太刀掛 2001）。本実験では整列性条件および経路条件（4. 設定条件において後述）が，人間の移動特性に及ぼす影響を検討するため，操作盤の特徴を取り除きすべて均一の平面とした。

移動の記録：移動の様子はデジタルビデオカメラ（ソニー株式会社製 DCR-PC110）によって記録された。Figure 2 は，実際のプラント内の機器配置について，また，Figure 3 は，実験環境と機材について示している。

3. 実験手続き

はじめに，操作盤配列が構築されている室内とは別の室内において，実験協力者に実験の概要が示された教示を渡し，同時に実験者が読み上げた。その後，合計 12 の操作盤が一定の規則に従って空間内に配列された図面（Figure 1 参照）を渡し，実験協力者は操作盤の名称とその配列関係を記憶した。記

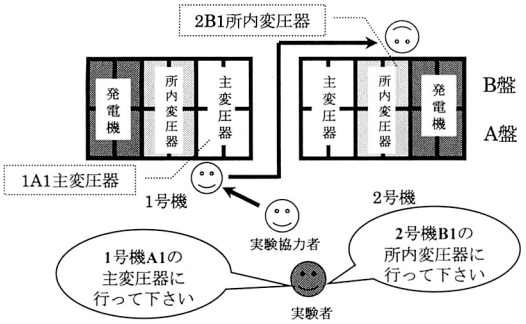

Figure 4　目標操作盤の指示例

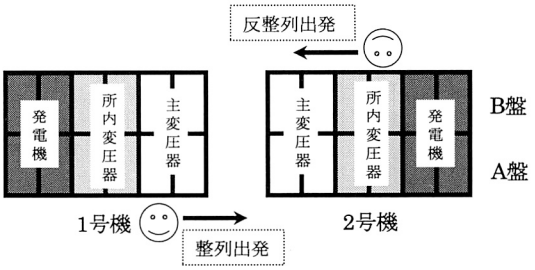

Figure 5　整列性条件の定義（整列，反整列）

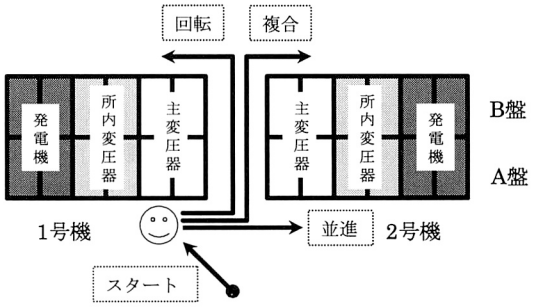

Figure 6　経路条件における定義（並進，回転，複合）

憶するための時間は制限せず，実験協力者が記憶したと思う時点で，操作盤配列を紙に描かせ，間違いがないことを実験者が確認した。記憶の確認後，実験協力者は，操作盤配列が構築されている室内のスタート地点（Figure 1 参照）へ案内され，操作盤配列図と室内配置の対応づけについて説明が行われた。

移動目標の操作盤は，実験者が口頭で指示した（例えば「1 号機 A1 の発電機に行ってください」と指示した）。移動は，距離が最短になる経路で行うように教示された。実験者が移動目標の操作盤を指示した後，実験協力者は目標の操作盤を復唱し，目標操作盤の位置と移動経路について，イメージを形成し確信をもった時点で「はい」と反応した。その後，実際に移動し，実験協力者の身体と目標操作盤とが 1 m 程度の距離を置いて向かい合う形になれば，実験協力者は再び「はい」と反応し，口頭で到着したことを報告した。目標操作盤に到着後，実験者は次の移動目標である操作盤を指示した。操作盤間の移動は 7 回連続で 1 試行とし，スタート地点（Figure 1 参照）に戻る手続きを繰り返した。Figure 4 は，以上の手続きを示している。練習試行は合計 5 試行，本試行は合計 25 試行（7×25＝175 回移動）であった。なお，所要時間は一人当たり約 1 時間 30 分であった。

4.　設定条件

整列性条件：Figure 5 に基づき，7 回連続の移動を行う際に，1 回ごとの移動出発地点が最初に学習した配列図の向きと同じ方向（整列：A 盤側から出発）もしくは逆の方向（反整列：B 盤側から出発）を設定し，スタート地点からの移動を除いて各試行内で等しくなるようにして，整列性条件とした。

経路条件：Figure 6 に基づき，ユニット間の移動が行われるが，操作盤に対する身体の向きは変化しない移動を要求する場合を「並進」とし，同一ユニットの移動において，操作盤に対する身体の向きが変化する移動を要求する場合を「回転」とした。また，ユニット間の移動が行われ，操作盤に対する身体の向きが変化する移動を要求する場合を「複合」とし，経路条件とした。実験協力者が最短経路を用いて移動した場合に，「並進」もしくは「回転」の移動要素によって構成された 3 種類の移動経路数を，スタート地点からの移動を除いて各試行内で等しくなるように設定し，移動距離は各試行間でほぼ等しくなるようにした。

7 回連続の移動を行うに当たり，はじめの移動はスタート地点からであり，「スタート」とした。「スタート」は，上に挙げられた 3 種類の移動要素とは異なり，最初に学習した配列図の向きと常に同じ方向からの出発（整列）であった。なお，統計的検定の有意水準は 5%とした。

結　　果

1.　移動時間

移動時間は，実験者が「○○に行ってください」と告げ，実験協力者が復唱を終えて，目標操作盤の

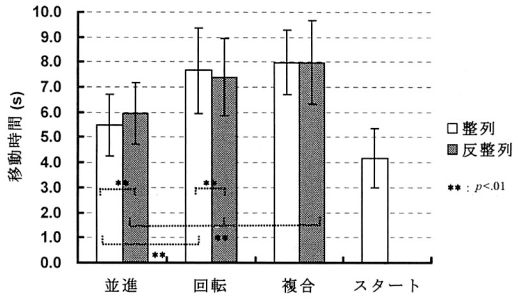

Figure 7　整列性条件および経路条件における平均移動時間

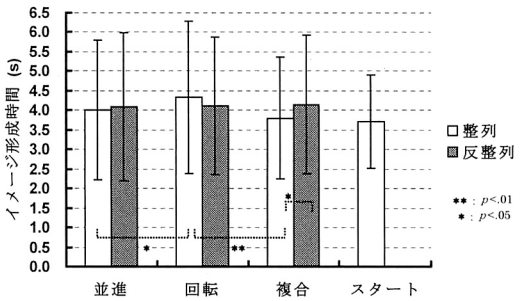

Figure 8　整列性条件および経路条件における平均イメージ形成時間

位置と移動経路が決定した合図として「はい」と反応した時点から，操作盤に到着し，移動完了の合図として再び「はい」と反応した時点までの時間であった。ただし，間違った経路を移動している時間，正しい経路に戻るまでに要した時間も含んでいた。なお，実験協力者が到着後に移動完了の合図を忘れたケースについて，9件のデータ（全試行の約0.4%）を分析の対象外とした。

Figure 7 は，整列性条件および経路条件における移動1回当たりの平均移動時間を示している。平均移動時間について，整列性条件（整列，反整列）×経路条件（並進，回転，複合，ただし，スタートについては反整列の場合に存在しないため除外した）の，対応のある2要因分散分析を行った結果，整列性条件の主効果が有意傾向，経路条件の主効果および交互作用が認められた（$F(1, 11)=3.93$, $p<.10$; $F(2, 22)=139.28$, $p<.001$; $F(2, 22)=4.95$, $p<.001$）。また，下位検定を行った結果，移動時間については，出発地点の向きが最初に学習した配列図の向きと同一の整列出発（A盤出発）と，逆になる反整列出発（B盤出発）について，経路条件ごとに傾向が異なっていた。「並進」および「回転」においては，整列性条件の影響が見られたが，「複合」では影響が示されなかった。

2.　イメージ形成時間

イメージ形成時間は，実験者が「○○に行ってください」と告げ，実験協力者が復唱を終えた時点から，移動準備が完了した合図として「はい」と答える時点までの時間であった。ただし，実験協力者が聞き直したり，実験者が復唱の間違いに気づいたりしたために，再び目標を指示した場合には，実験協力者が正しい復唱を終えた時点から，「はい」と反応した時点までの時間を計測した。なお，実験協力者が目標操作盤の位置と移動経路を決定した合図を忘れて移動を開始したケースについて，6件のデータ（全試行の約0.3%に相当）を分析の対象外とした。

Figure 8 は，整列性条件および経路条件における移動1回当たりの平均イメージ形成時間を示している。平均イメージ形成時間について，整列性条件（整列，反整列）×経路条件（並進，回転，複合：反整列におけるスタートは存在しないために除く）の，対応のある2要因分散分析を行った結果，経路条件の主効果，および交互作用が認められ（$F(2, 22)=4.86$, $p<.05$; $F(2, 22)=5.66$, $p<.05$），整列性条件の主効果は見いだされなかった（$F(1, 11)=0.90$, *n.s.*）。なお，下位検定を行った結果，整列出発では経路条件の回転において最もイメージ形成時間が大きくなることが示された。一方，反整列出発では，経路条件の各水準における差は見いだされなかった。

3.　移動エラー発生率

目標の操作盤とは異なる操作盤に移動した試行，または移動しようとした試行を移動エラーとして分析を行った。前者は，間違った操作盤に到着して，「はい」と反応した後で実験者に間違いを指摘されて移動をやり直した場合である。また，後者は，実験協力者が移動の途中で間違いに気づいて訂正した場合であり，両者に重複がないように分析した。

Figure 9 は，整列性条件および経路条件における移動エラー発生率をまとめたものである。移動エ

3) 逆正弦変換は，0または1に近い割合について，その分散を大きくなるように拡げられることが知られており（Snedecor & Cochran, 1967 畑村他訳 1972），本結果においてはこの知見を適用した。

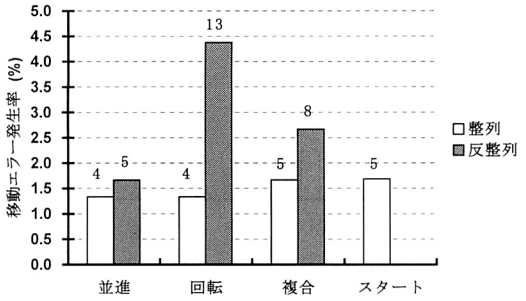

Figure 9　整列性条件および経路条件における平均移動エラー発生率（数字は移動エラー発生件数を示す）

ラー発生率を逆正弦変換後[3]，整列性条件（整列，反整列）×経路条件（並進，回転，複合：反整列におけるスタートは存在しないために除く）の，対応のある 2 要因分散分析を行った結果，整列性条件の主効果が有意傾向 ($F(1, 11)=4.82$, $p<.10$)，経路条件の主効果および 2 要因の交互作用は認められなかった ($F(2, 22)=1.05$, *n.s.*; $F(2, 22)=2.00$, *n.s.*)。出発地点の向きが最初に学習した配列図の向きと同一の整列（A 盤出発）よりも，逆になる反整列（B 盤出発）のほうが，移動エラー発生率が有意に高くなった。ただし，整列出発，反整列出発ともに，経路条件の各水準においては，統計的に有意な差異を認めることはできなかった。

4.　移動エラータイプ別発生率

ここでは，移動エラーの有無と同時に，どの操作盤を目標の操作盤と間違えたのか，という操作盤取り違いタイプについて分析を行った。移動エラーのタイプについては，目的の操作盤とは異なった号機へ到達する「号機エラー」，異なった盤列へ到達する「A–B エラー」，主変圧器と所内変圧器を間違える「主–所エラー」，主変圧器と発電機を間違える「主–発エラー」，操作盤番号（例：1 号機 A 盤 2 発電機の場合，2 の部分）を間違える「1–2 エラー」，号機と異なった盤列を組み合わせて間違える「その他」に分類することができる。Figure 10 は，Alignment Effect の観点から各操作盤取り違いタイプの件数についてまとめたものである。この結果，全体として発生数は極めて少ないが，号機エラーにおける反整列出発のエラー発生数が特徴的であった。

考　　察

1.　移動エラーの発生要因

Figure 9 より，移動エラー発生率の分析において，整列性条件に注目した場合，出発地点の向きが最初に学習した配列図の向きと同一の整列出発（A 盤出発）よりも，逆になる反整列出発（B 盤出発）のほうが，有意傾向ではあるものの移動エラー発生率が高くなったことから，同一空間内の移動を繰り返す状況において，移動エラーにおける Alignment Effect の発生が確認された。

次に，経路条件に注目する。本実験のように Alignment Effect が認められる場合，反整列出発では各水準において，移動のプランニングに関わる認知的負荷は異なると考えられる。特に「回転」の移動要素において，身体回転に伴う配列の確認などの認知的負荷が高く，「並進」の移動要素と比べてエラー発生率が高くなることが予想された。Figure 9 より，反整列出発において，「並進」1.7%および「複合」2.7%と比較して，「回転」4.4%となったが，統計的に有意な差異を認めることはできなかった。この点については，次のような解釈が考えられる。Waller, Montello, Richardson, & Hegarty (2002) は，学習される空間規模の観点から空間表象の視点依存性について検討した。その結果，意志決定にかかる反応時間や実際の行動指標といった従属変数の用いられ方により，過去に統一した見解が得られなかったことを明らかにした。これは統制された実験状況において，実際の行動指標は反応時間と比較して分析における感度が低く，期待された空間表象の特性が現れなかったことに起因している。また，上野 (1999) は，いったん誤った意志決定がなされても，行動に移る前やその途中に修正がなされることにより，エラー発生率が低くなることを指摘している。よって，本研究で注目した移動エラー発生率は，目標操作盤に到着する行動の正誤のみに基づいており，エラーの修正が成功した際の心的過程を十分に反映しない可能性がありうる。しかしながら，エラー発生率については，多重課題状況や時間的圧迫の状況によって誤った意思決定の修正が不可能となった場合には有効な指標であり，以上の結果は，次に挙げるイメージ形成時間といった複数の従属変数と併せて吟味することで，エラー発生メカニズム

の解明に資するものである。

つづいて，イメージ形成時間に関する分析では，目標操作盤の位置と移動経路を決定する時間，つまり，移動のプランニングに必要とされる時間が，整列出発よりも反整列出発において長く，かつ移動要素の影響を受けると予測されたが，Figure 8 から，それに反する結果となった。すなわち，整列出発では移動要素によるパフォーマンスの違いが明らかとなり，「回転」の移動要素は並進の移動要素と比べて，イメージ形成時間が長いことから，移動のプランニングに関わる処理がより必要になることが示された。一方，反整列出発では移動要素の影響を見いだすことができなかった。この解釈の一つとして，反整列出発では移動のプランニングが不十分のままに反応が行われた可能性があることが挙げられる。また，移動エラー発生率においては，Figure 9 より Alignment Effect が認められており，イメージ形成時間と移動エラー発生率との間にトレードオフの関係が成立する可能性が指摘される。Alignment Effect におけるイメージ形成時間と判断エラーとの関係については，実際移動を伴わない，小規模空間における対象の方向判断課題の場合，前者は人間が持つ空間表象の性質そのものに，後者は周囲環境を含めた空間表象の利用過程に対応することが，松井 (1997) により示されているが，実際移動のプランニングにおいては，空間表象と周囲環境に対する情報処理に加えて，疲労やタイムプレッシャーが関係していると考えられ，それらの要因が及ぼす影響についても，今後検討する必要がある。

2. 空間把握における配列の階層性

人間が空間を移動する場合には，絶えず自己と対象との位置関係の更新，つまり空間的更新 (Spatial Updating) を無意識に行っており（Farrell & Robertson, 1998），日常場面における既知の空間内で定位を失うことはほとんどないと考えられる。しかしながら，本実験は，統制された条件ではあるが，既知であっても，見通しが悪く，かつ均質な特徴を持つ空間内で移動を繰り返すことにより，空間的更新の失敗，つまり，移動エラーが生起することが明らかとなった。そこで，あらかじめ設定された条件間の比較とともに，Figure 10 より，移動エラーが発生した場合の操作盤取り違いタイプに注目して，操作盤配列の把握についても検討を行った。その結

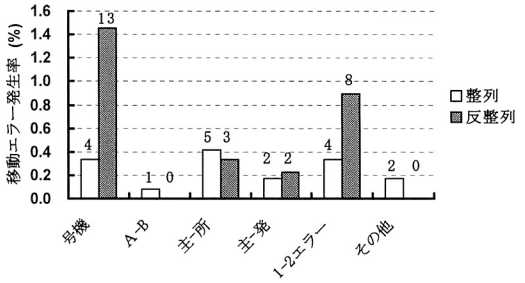

Figure 10　操作盤取り違いタイプにおける平均移動エラー発生率（数字は移動エラー発生件数を示す）

果，整列出発と比較して，反整列出発の場合に，比較的大きな空間把握が必要とされる号機ユニットの取り違い件数が多かった。一方，主発電機と所内発電機の取り違いのような，同一ユニット内の操作盤における取り違いは全般的に少なかった。つまり，整列性の要因が，A 盤もしくは B 盤の盤側によって号機ユニットの左右位置が変化する，比較的大きな空間把握に対して影響を及ぼし，空間配列が階層的に把握されている可能性がある。Alignment Effect の生起に関係する空間表象の性質が，学習環境の規模において異なるか否かについては，単純な経路やランダムに配置された対象を用いて論じられているが (Presson, DeLange, & Hazerigg, 1989; Roskos-Ewoldsen, McNamara, Shelton, & Carr, 1998)，例えば，機器配列空間内の移動エラー防止においては，作業者における視覚的手がかりの情報獲得過程（彦野・松井，2003）とともに，空間把握における配列の階層性に注目する必要性が指摘される。

3. 知見の妥当性

本実験では，最初に機器配列の学習が図面を用いて行われ，その後は，同一の空間内を反復して実際に移動するという手続きが取られた。よって，配列に関する空間的知識，つまり，空間表象は図面の学習と実際移動の経験との両方を通じて獲得されていたと考えられる。獲得された空間表象の性質については，学習経験の違いに関する研究がなされている。例えば，地図学習と実際移動（ナヴィゲーション）学習に基づいて形成される空間表象とを比較すると，地図学習群が対象間の相対的位置関係や直線的距離の判断に優れていることに対して，実際移動学習群は自分自身が見ることのできない対象との定位や経路距離を見積もることに優れているとの知見

が得られている (Thorndyke & Hayes-Roth, 1982)。

今回の手続きは，配列図と実際移動との両者の学習経験が含まれているために，これらの経験の違いを厳密に分けて論ずることはできない。しかしながら，実際の作業場面での，作業指示書に含まれる図面や実際移動を通じて得られた情報から空間表象を獲得していく状況に近くなるように設定した。今後，実際の作業者が空間表象を獲得していく過程を明らかにして対応づけることが必要である。

今後の課題

本研究において得られた知見は次のとおりである。第1に，産業場面を想定した空間配列内の移動を繰り返す状況において，Alignment Effect による移動エラーが実際に生起することが明らかとなった．また，第2には，回転の移動要素が移動エラーの生起に影響を及ぼすことは，イメージ形成時間においては推測されたが，エラーの発生レベルでは示されなかった．よって，いったん誤った意志決定がなされても，行動に移る前やその途中に修正がなされる可能性を考慮して，さらに検証を進める必要がある。

以上の知見を換言すれば，応用場面への提言として，作業図面がもつ方向性とは異なった方向からの移動を行う場合に，移動パフォーマンスが低下することが少なくとも予想され，作業管理者と作業者にその特性を周知する必要があろう。また，A盤からB盤への移動，もしくはB盤からA盤への移動といった，盤側が変化する回転移動等の経路の要因を，現実場面に配慮しつつ，引き続き検討していく必要がある。さらに，ハードウェア面の観点から，整列性を考慮した配置図については，設置の適切な地点とその方向について検討する余地があると考えられる。

なお，今後の展開として，同様の手続きを用いて，機器の適切な配列方式について検討を行うことが可能である。本実験において用いられた機器配列は，左右対称となるミラー型配列が用いられたが，実際には，ミラー型配列のほかに，ユニット間の操作盤配列が平行移動した関係となるスライド配列方式などが存在する。整列性の要因と経路の要因において，実際移動のパフォーマンスを比較することで，移動エラーを防ぐ最適な配列方式，ならびに移動を伴う作業手順の，より適切な設定方式を見いだすことが課題である。

引用文献

天ヶ瀬正博 1995 避難経路図の向きが避難行動へ及ぼす効果，日本心理学会第59回大会発表論文集，729.

独立行政法人原子力安全基盤機構：事象別トラブル情報，http://www2.jnes.go.jp/atom-db/jp/index.html，検索日：2007, 9, 4.

Farrell, M. J. & Robertson, I. H. 1998 Mental rotation and the automatic updating of body-centered spatial relationships. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **24**(1), 227–233.

彦野　賢，松井裕子 2003 発電所内移動時の作業員の空間錯誤に関する予備調査，ヒューマンインターフェース学会研究報告集，**5**(2), 25–26.

株式会社原子力安全システム研究所技術システム研究所編 2001 安全の探究「人・社会と巨大技術が構成するシステムの安全学とその実践」，ERC出版，東京.

Kantowitz, B. H., Triggs, T. J., & Barnes, V. E., 1990 Stimulus-response compatibility and human factors, In R. W. Proctor & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-Response Compability*, pp. 365–388. North-Holland, Amsterdam.

Levine, M., Jankovic I. N., & Palij, M. 1982 Principles of spatial problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, **111**(2), 157–175.

松井孝雄 1997 空間認知における異方性の研究，慶應義塾大学社会学研究科博士論文（未公刊）.

三浦利章・臼井伸之介・篠原一光・塚田哲也・福井宏和・石松一真・木村貴彦・鶴原亜紀・太刀掛俊之 2001 方向認知におけるヒューマン・エラーと視覚的注意に関する研究，株式会社原子力安全システム研究所社会システム研究所　平成12年度研究活動報告.

尾入正哲 1997 緊急時における方向判断エラー：避難経路図の掲示方向と身体の向きの影響，日本心理学会第61回大会発表論文集，349.

Presson, C. C., DeLange, N., & Hazerigg, M. D. 1989 Orientation specificity in spatial memory: What makes a path different from a map of the path? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **15**(5), 887–897.

Presson, C. C., & Montello, D. R. 1994 Updating after rotational and translational body movements: Coordinate structure of perspective space. *Perception*, **23**, 1447–1455.

Roskos-Ewoldsen, B., McNamara, T. P., Shelton, A. L., & Carr, W. 1998 Mental representations of large and small spatial layouts are orientation dependent. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **24**(1), 215-226.

Thorndyke, P. W. & Hayes-Roth, B. 1982 Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. *Cognitive Psychology*, **14**, 560-589.

上野雄宏 1999 防災意識と災害時の認知的行動，平成8・9・10年度科学研究費補助金（基礎研究(A)(2)）研究成果報告書，159-181.

Waller, D., Montello, D. R., Richardson, A. E., & Hegarty, M. 2002 Orientation specificificity and spatial updating of memories for layouts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **28**(6), 1051-1063.

（受稿：2007. 9. 26，受理：2008. 5. 12）