

## 1. 「知的生産性研究委員会」基礎研究部会の活動報告

部会長： 田 辺 新 一 （早稲田大学）

### 目 次

1. 部会の目的と活動方針
  - 1-1. 部会の目的
  - 1-2. 研究内容
  - 1-3. 方法
  - 1-4. アウトカム
2. 研究内容の概要
  - 2-1. 今年度の部会活動方針
  - 2-2. 室内環境質と知的生産性の関係
  - 2-3. パフォーマンスの客観的評価手法
  - 2-4. 人体反応の客観的評価手法
  - 2-5. ISO-TC205
  - 2-6. 研究事例調査
  - 2-7. 健康、満足度、疲労と知的生産性
3. 今後の課題と活動方針
  - 3-1. 環境要素と知的生産性の関係に関する学術データの整理
  - 3-2. 知的生産性の客観的評価手法の開発
  - 3-3. 実験またはオフィスビル・学校における客観的調査例の収集
4. 部会委員名簿

## 1. 基礎研究部会の目的と活動方針

### 1.1 部会の目的

知的生産性の向上のためには空気環境や温熱環境などの物理的環境に対する十分な配慮が重要である。本部会は、主として環境・設備により作り出された物理環境が知的生産性に及ぼす影響を生理／心理的な側面から評価する方法に関して検討を行う。知的生産性を高める環境・設備計画のあり方に関して、実験室実験、実測を通じて客観的な検証を行う。

### 1.2 研究内容

- (1) 環境要素と知的生産性の関係に関する学術データの整理
- (2) 知的生産性の客観的評価手法の開発
- (3) 実験及びオフィスビル・学校における客観的調査例の収集

### 1.3 方法

- (1) 環境要素と知的生産性の関係に関する学術データの整理を行う。ISO-TC205 との連携を行う。
- (2) 被験者実験やオフィスビル・学校における客観的な評価方法を立案検証する。被験者が現地に出向くピクニック手法（居住者ではなく被験者を対象建物に連れてゆき、第一印象を伝える方法）に関しても検討する。
- (3) 開発を行った客観的な評価手法を用い、実験あるいはオフィスビル・学校における実測を行う。

### 1.4 アウトカム

- (1) これまでの学術研究の体系的な整理
- (2) 客観的評価手法の標準化
- (3) 調査例の収集とデータベース化

## 2. 研究内容の概要

### 2.1 今年度の部会活動方針

今年度は、環境要素と知的生産性の関係に関する学術データの収集および整理を行った。室内環境質と知的生産性に関する研究について、国内外の研究動向についてまとめた。ISO\_TC205 (Building Environmental Design) と連携することにより、省エネルギーかつ知的生産に適した環境設計を実現するための国際規格に関し、基礎的情報を収集した。室内環境質が知的生産性に与える影響の評価手法のうち、客観的評価の位置づけおよび概要について述べた。客観的評価は、室内環境質が人体反応およびパフォーマンスに影響を与えるメカニズムを定量的に明らかにする為に、主観的評価とともに不可欠であり、知的生産性の高い室内環境を設計する際の基礎的なデータとなることが期待できる。

### 2.2 室内環境質と知的生産性の関係

生産性は、一般的に、Input に対する Output の割合であると定義される。室内環境質の改善によって得られた利益 (Output) を、それに費やしたコスト要因 (Input) で除算することにより、室内環境改善に対する投資効果を示す経済指標を提案することができる。その為、知的

生産性の評価には、Output や Input の要素の定量化が不可欠である。Input 側の要素としては、例えば室内環境質改善の為に設備投資費を見積もるなど、比較的定量化がしやすいが、室内環境質の改善による Output 側の要素に与える影響を定量的に評価する手法については未だ明確に定まっていない。田辺らは、室内環境質と知的生産性の概念図を示し、知的生産性の評価手法を整理した<sup>1)</sup>。室内環境が「人体反応」に影響を与え、それにより作業成績が変化すると考える点が特色である。図 2.2.1 に田辺らの概念図に、客観的評価の位置づけを明示したものを示す。客観的評価手法の主なものは、①作業成績などの「パフォーマンス」の定量化、②室内環境の質がパフォーマンスに影響を与える過程である「人体反応」の評価に分けられる。

### 2.3 パフォーマンスの客観的評価手法

パフォーマンスの定量化については、被験者実験を行う場合には、オフィスワークを模擬した作業を被験者に課し評価を行うことが多い。また、現場実測では、通常業務の定量化が難しい為、評価手法に定量化可能となるような工夫として、①パフォーマンスデータの定量化が可能な業務内容を選び測定する方法、②オフィスワークを模擬した簡単なパフォーマンステストを課す方法が挙げられた。

### 2.4 人体反応の客観的評価手法

知的生産性を評価する際には、オフィスワークのパフォーマンスのみでなく、疲労やメンタルワークロード等の人体反応を合わせて評価することが必要である。人体反応の評価には、アンケート等の主観評価および生理量測定による客観的評価がある。本部会では人体反応の客観的評価手法の研究事例を整理した。例として、近赤外分光法を利用した、生体内酸素代謝測定システムである近赤外線酸素モニタを用いた研究事例を示す。Nishihara と Tanabe<sup>2)</sup>は、課す計算作業の難易度や努力の程度によって脳内酸素代謝状態が異なることを示し、メンタルワークロードの客観的指標として有効である可能性を示した。図 2.4.1 に難易度の異なる計算作業を課した場合の、メンタルワークロードの違いが、総ヘモグロビン濃度変化に与える影響に関する結果を示す。また、作用温度 26℃および 33.5℃の各環境に 50 分間被験者を順応させた後、計算作業を課した実験<sup>3)</sup>では、作用温度 33.5℃の暑い環境下において、精神的な疲労症状を多く訴え、総ヘモグロビン濃度変化量の増加量が大きかった。暑い環境下では作業成績を一定に保つ為に必要なメンタルワークロードが熱的中立状態よりも高い可能性があった。

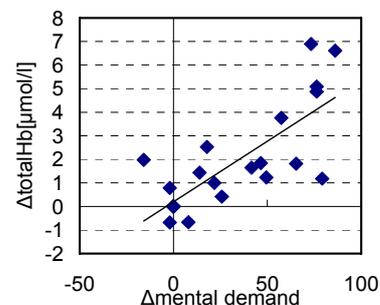
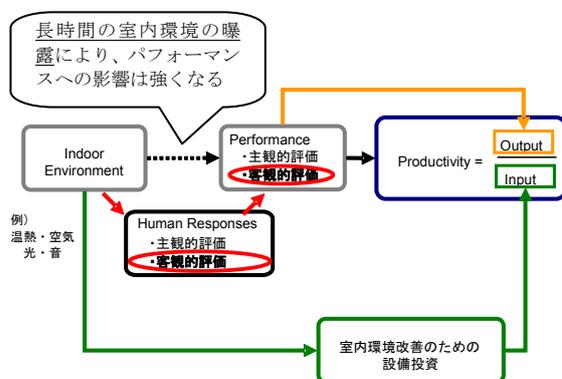


図 2.2.1 室内環境質と知的生産性の関係 図 2.4.1 メンタルワークロードと総ヘモグロビン

## 2.5 ISO-TC205

ISO\_TC205 (Building Environmental Design:建築環境設計)と連携することにより、省エネルギーかつ知的生産に適した環境設計を実現するための基礎的情報を収集した。

ISO\_TC205は、新築建物および既築建築の改修の設計において、許容できる室内環境と実効性のある省エネルギーのための規格の作成を目的としている。室内環境としては、空気質、温熱、音、光の要素を含んでいる。但し、他のTCとの重複を避ける為、「他の人間工学的要素」、「空気汚染質、熱、音響、照明に関する特性の測定方法」、「建物の環境設備および断熱材の性能試験と評価方法」については除いている。TC205を構成するWGは8つあり、それぞれWG1:室内環境:一般原則、WG2:省エネルギー建築物の設計、WG3:ビル制御システム設計、WG4:室内空気気質、WG5:室内温熱環境、WG6:室内音響環境、WG7:室内視環境、WG8:放射暖冷房システムとなっている。各WGの国際規格化の状況や現在の動向について情報を整理した。

## 2.6 研究事例調査

温熱環境が知的生産性に与える影響に関する被験者実験についてまとめた。温熱環境が知的生産性に与える影響に関する被験者実験(短時間曝露)<sup>4),5)</sup>では、作用温度を25.5℃、28℃、33℃の環境下でコンピュータを用いた複数の作業を被験者に課した。作業成績では有意な差は認められなかったが、暑い環境で精神作業・夜勤のときに典型的な疲労が生じていることが明らかとなった。図2.6.1に長時間曝露実験の際の自覚症状しらべ個人訴え率と1桁加算作業の正答数z-scoreの相関図を示す。長時間の曝露では、個人ごとの疲労訴え率が高くなると作業成績が低下することが明らかとなった<sup>6)</sup>。コールセンターにおいて、四季を通じ累計13,169人分のコールデータを対象として行った現場実測<sup>7)</sup>では、平均室内空気温度が25.0℃が26.0℃に1.0℃上昇したときに、時間平均応答件数が低下し、その作業効率の低下は1.9%程度であった。一方、室内温度が過剰に冷房された現場実測では、熱的中立状態より温度が低いとき1日あたりのタイプ数が少なくなる相関が見られた<sup>8)</sup>。

欧州の暖房空調学会REHVAは、ビル所有者やビル事業者、オフィス作業に対する室内環境質の重要性に関し、わずかな投資で大きな利益が得られる可能性について定量的に示すことを目的とし、オフィスにおける室内気候と知的生産性—知的生産性評価を考慮したライフサイクルコスト分析というガイドブックを出版した<sup>9)</sup>。このガイドブックは、オフィス作業に関する室内環境の影響を定量化する方法をレビューにより示したものであり、建物費用のライフサイクルコスト分析において、経済試算に知的生産性の影響を考慮する方法やケーススタディを示している。主に室内空気質および温熱環境に関して、作業効率の客観的評価に基づいてモデルを提案している。村上らは、教室の室内環境と学習効率についての一連の研究成果を「教室の環境と学習効率」<sup>10)</sup>という書籍にまとめた。知的な活動を行う主体である人間と室内環境の質との関係を明確にすることにより、オフィス等の執務環境だけに限らず、学習環境等、様々な室内環境の質の向上を図ることが可能となる。

部会では、東海大学の高雄元晴先生をお迎えし、生理学の立場から、網膜の視覚情報処理の生理的メカニズムについて話題提供を頂いた。内因性光感受性網膜神経節細胞(ipRGC)には視物質メラノプシンが存在し光から電気に変換し輝度検出器として機能し、概日リズムの光同調および瞳孔反射に関わっている。ipRGCはラットの電気生理学的研究から、480nmの波長に

最大感度を示すが、瞳孔反射による研究からヒトに関しても 480nm の波長に最大感度を示す。生理学的メカニズムに関する知見は人間の活動を支えるオフィス環境を設計する際に重要であり、知的生産性を向上させるために 480nm を意識した設計事例等も出てきている。生理・心理的な基礎的知見を蓄積していくことが重要である。

## 2.7 健康、満足度、疲労と知的生産性

西川ら<sup>11)</sup>は、SBS 症状と作業効率を同時に評価している 30 論文を集め、症状の強さと作業効率とともに定量化している 8 論文の数量データを用い、SBS 症状（シックビルディング症候群の症状）と知的生産性の関係を検討した。10%の不定愁訴の強さの増加が、5%程度の作業効率を低下させる可能性があることが示された。NIOSH（米国国立労働安全衛生研究所）が主導して取りまとめた研究<sup>12)</sup>でも、建物環境を改善する事によって、89 百万人の米国室内執務者のうち、15 百万人以上の執務者の健康影響に良い影響を与え、その推定経済利益は、年間 5~75 億ドルであることが示されている。

米国カリフォルニア大学 Berkley 校の CBE（Center for the Built Environment）では、大規模な満足度調査を行っている<sup>13)</sup>。米国の LEED で、グリーンビルディングと評価されたビルの居住者の満足度は、その他の一般的なビルに比べて高いことが報告されている<sup>14)</sup>。

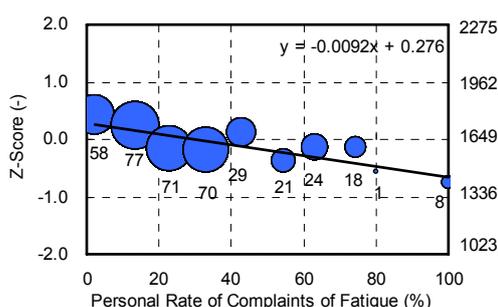


図 2.6.1 自覚症状しらべ個人訴え率と作業成績 z-score

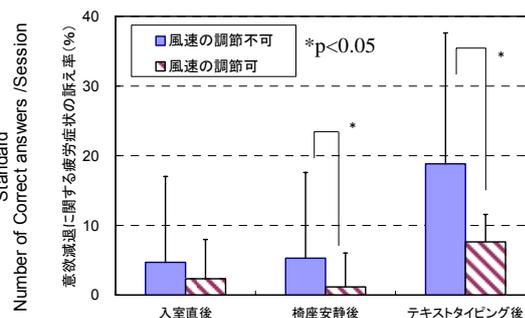


図 2.7.1 風速の個別制御と作業意欲減退に関する疲労症状の訴え率

図 2.7.1 は、被験者が風速を自分の好みに合わせて自由に調節できる条件と調節できない条件を設け、知的生産性に与える影響の比較を行った場合の、作業意欲減退に関する疲労の症状の訴え率である<sup>15)</sup>。風速を自分自身で調節できることにより、疲労の症状を低下させる可能性を示した。執務者の周囲の熱環境を好みに応じて調節可能なタスク・アンビエント空調システム<sup>16)</sup>では疲労感を軽減できる可能性があることが報告されている。また、照明システムに関する研究<sup>11)</sup>でも個別制御によって満足度が高かったと報告されている。疲労や環境に対する満足度は、作業のパフォーマンスとも関係がある<sup>17), 6)</sup>ことが明らかとなってきたことから、室内環境質の改善策を具体的に考える上で、自分の好みに合わせて環境を整えることのできる環境選択型技術は、大きな鍵を握ると考えられる。

### 【参考文献】

- 1) 田辺, 西原, 羽田: 室内温熱環境と知的生産性, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, pp.159-162, 2006
- 2) Nishihara, N. and Tanabe, S: Evaluation of Input-Side Parameter of Productivity by Cerebral Blood Oxygenation Changes, Roomvent 2004, CD-ROM 6pages, 2004
- 3) Nishihara, N. and Tanabe, S.: Office Workers' Productivity in Moderately Hot Environment -Task Performance, Fatigue and Cerebral Blood Flow-, The Third International Conference on Human-Environment System (ICHES' 05), pp.233-237, 2005
- 4) Tanabe, S. and Nishihara, N: Productivity and fatigue, Indoor Air, No.14, pp.126-133, 2004

- 5) 西原, 田辺: 中程度の高湿環境下における知的生産性に関する被験者実験, 日本建築学会環境系論文集, 568, pp.33-39, 2003
- 6) Ueki, M., Tanabe S., Nishihara N., et al.: Effect of moderately hot environment on productivity and fatigue evaluated by subjective experiment of long time exposure, Proceedings of CLIMA 2007, Vol.1, pp.207-214, 2007
- 7) 小林, 北村, 清田, 岡, 西原, 田辺: 執務空間の温熱環境が知的生産性に与える影響—コールセンターの長期間実測—, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.451-454, 2006
- 8) Nishihara, N., Tanabe, S., Haneda, M. et al. U: Effect of Overcooling on Productivity Evaluated by the Long Term Field Study, Proceedings of CLIMA 2007, Helsinki, Finland, Vol.1, pp.35-42, 2007.6
- 9) Wargocki, P., Seppänen, O.: “Indoor Climate and Productivity in Offices”, REHVA guidebook, No.6, REHVA, 2006
- 10) 村上, 伊藤, ワルゴッキ: 教室の環境と学習効率、建築資料研究社、2007
- 11) 西川, 西原, 田辺: タスク照明の個人制御が知的生産性に与える影響に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No.603, pp.101-109, 2006
- 12) Mendell MJ, Fisk WJ, Kreiss K, Levin H et al.: Improving the Health of Workers in Indoor Environments: Priority Research Needs for a National Occupational Research Agenda, American Journal of Public Health, Vol.92, No. 9, 2002
- 13) Huizenga, C., Abbaszadeh, S., Zagreus, L. and Arens, E.: Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey. Proceedings of Healthy Buildings, Lisbon, Vol. III, 393-397, 2006
- 14) Abbaszadeh Fard, S., Zagreus, L., Lehrer, D. and Huizenga, C. Occupant Satisfaction with Indoor Environmental Quality in Green Buildings. Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lisbon, Vol. III, 365-370, 2006
- 15) Nishihara, N. and Tanabe, S.: Effect of individual control of air velocity on office workers' productivity with subjective experiment, Journal of Home Economics of Japan, Vol.56, No.3, pp.153-161, 2005
- 16) 秋元, 松田, 西原, 田辺: 個人制御による非等温タスク空調が熱的快適性・知的生産性に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, No.582, 75-82, 2004
- 17) 川村, 西原, 羽田, 植木, 中村, 田辺: 室内環境が知的生産性に与える影響 (その 16) —温熱・空気質環境における満足度および作業効率の評価—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(福岡), D-II, pp.1157-1158, 2007

### 3. 今後の課題と活動方針

#### 3.1 環境要素と知的生産性の関係に関する学術データの整理

環境要素と知的生産性の関係に関する学術データを引き続き収集し、データベース化する。室内環境要素が知的生産性に影響を与える際のメカニズムに関し知見を得る。

#### 3.2 知的生産性の客観的評価手法の開発

現場実測等で簡易に評価可能な客観的手法を提案する。

#### 3.3 実験またはオフィスビル・学校における客観的調査例の収集

客観的評価手法を用い可能であれば実験またはオフィスビル、学校における実測を行う。

### 4. 部会委員名簿 (部会長、幹事、委員 (五十音順))

部会長	田辺 新一	(早稲田大学)
幹事	柳井 崇	(日本設計)
委員	秋元 孝之	(芝浦工業)
委員	伊藤 一秀	(九州大学)
委員	岩下 剛	(武蔵工業大学)
委員	岩田 利枝	(東海大学)
委員	大岡 龍三	(東京大学)
委員	加藤 信介	(東京大学)
委員	久野 覚	(名古屋大学)
委員	坂部 貢	(北里大学)
委員	西原 直枝	(早稲田大学)
委員	銚井 修一	(京都大学)
委員	高橋 幹雄	(竹中工務店)