

## 環境・設備部会の活動報告

### 1．環境・設備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が人の生理・心理に与える影響についての十分な配慮が重要である。本部会は、物理的環境について、主として主観的な側面から環境・設備計画が知的生産性に及ぼす影響を検討し、基礎研究部会の検討結果も踏まえて知的生産性を高める環境・設備計画のあり方を検討する。

#### 1.2 研究内容

- (1) 国内外の文献を調査し、環境・設備計画が知的生産性に与える影響を検討する。
- (2) 国内外の先進事例を調査し、環境・設備計画が知的生産性に与える影響を検討する。
- (3) 既存ビルの知的生産性をアンケート等の主観的手法で評価する手法について検討し、基礎研究部会の検討結果も含めて評価手法を整理する。
- (4) 知的生産性を向上させる環境・設備の各種技術・計画手法を検討する。

#### 1.3 方法

- (1) 国内外の各種文献、論文、先進事例を調査し、影響因子毎に整理する。
- (2) 建築学会の研究をベースに、主観調査票を用いた知的生産性評価について検討し、他部会の検討成果も考慮して評価手法の検討を行なう。
- (3) 熱環境、空気環境、光・視環境、音環境、IT環境に関わる技術の現状を調査する。
- (4) 知的生産性という観点から、熱環境、空気環境、光・視環境、音環境の計画/評価手法を検討する。

#### 1.4 アウトカム

- (1) 物理的環境が知的生産性に与える影響の基本的データベースの構築。
- (2) 知的生産性にかかわる主観調査票の提案及び主観・客観調査全般の調査手法の整理
- (3) 知的生産性を向上させる環境・設備技術マップ作成
- (4) 知的生産性を向上させる環境・設備計画モデルの提案

### 2．研究内容の概要

#### 2.1 研究部会の活動

月1回程度の頻度で研究部会を開催し、当初の作業課題に基づく検討を行った。また、本委員会及び幹事会等の情報や各委員からの情報をもとにして検討を行った。以下主な検討事項を記す。

## 2.2 文献調査

知的生産性に関係する内外の調査研究論文資料を収集し、知的生産性研究のためのデータベースとして整理した。収集された文献は2009年2月末の時点で総数243(内、英文文献104)である。英文文献においては、抄録のあるものについてはそれをデータベースに収録し、その和訳も添付した。また、それらの文献の重要度についても委員の投票により判断し、その得票数もデータベースに添付した。

表-1 知的生産性研究データベース(抜粋)

得票数	タイトル(和訳タイトル)、著者	掲載誌、巻号、頁、掲載年	抄録本文	抄録訳	英語キーワード
8	A conceptual model to estimate cost effectiveness of the indoor environment (室内環境効果のコスト効果についての概念モデル) Seänen, O. and Fisk, W.J.	Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, 2003	Macroeconomic analyses indicate a high cost to society of a deteriorated indoor climate. The few example calculations performed to date indicate that measures taken to improve IEQ are highly cost-effective when health and productivity benefits are considered. We believe that cost-benefit analyses of building designs and operations should routinely incorporate health and productivity impacts. As an initial step, we developed a conceptual model that shows the links between improvements in IEQ and the financial gains from reductions in medical care and sick leave, improved work performance, lower employee turn over, and reduced maintenance due to fewer complaints.	マクロ経済分析は、室内気候の悪化が社会的により高いコストを発生させることを示している。これまで行われた数例の試算では、IEQの改善を行うことは健康と生産性の利益を考えた場合優れたコスト効果を生むことを示している。我々は建築デザインとその実施についての費用対効果分析において、健康及び生産性効果がその標準的指標として取り入れられるべきであると確信する。その第一歩として、我々は治療と病欠状況の低下、作業効率の向上、雇用の低離職率およびクレーム数の低下に伴う法的費用の節減による、IEQの改善と業務上の利益との関係を示す概念モデルを開発した。	IAQ assessment, health effects, productivity, modeling, costs
8	The Combined Effects of Many Different Indoor Environmental Factors on Acceptability and Office Work Performance (許容可能な室内環境因子の複合効果とオフィス作業効率) G Clausen, DP Wyon	Proceedings of Indoor Air 2005, 2005	Ninety-nine young-adult subjects of both genders were randomly assigned to four groups. One group performed simulated office work for two hours in a set of poor environmental conditions, with overhead fluorescent lighting, recorded traffic noise from a busy street, 27 degrees C (80.6 degrees F) operative temperature, supply air polluted by emissions from linoleum, recorded open office noise, and almost no daylight. The realistic annual cost of improving each of the six conditions was estimated and expressed as a percentage of the total sum of the cost of improving conditions. The modifications included improved lighting, barely audible traffic noise, operative temperature of 22 degrees C (71.6 degrees F), clean air, quiet, and a daylight view out. A second group briefly experienced all 12 conditions and individually selected the improvements they preferred, up to a 50% budget. A third group of subjects was randomly paired with each of the subjects from the second group, and each pair was exposed to the conditions selected by the second-group subjects. A fourth group was exposed to fully improved (100%) conditions. Significant improvements in subjective ratings were observed in the fully improved conditions.	99名の若い男女の成人被験者が無作為に4つのグループに分けられた。一つのグループは2時間わたる模擬的事務作業を騒音の蛍光灯、録音された混雑している道路騒音、室温摂氏27度(華氏80.6度)、リノリウムの床から放出される物質に汚染されている空気への暴露、ほほ屋光のない状態という劣悪な環境条件で行わせられた。また、それぞれの6つの環境条件を改良する現実的な年間コストが改善費用の合計として算出された。変更は照明の改善、交通騒音のほとんど聞き取れない程度への低減、22℃(71.6度F)の作業環境室温、清浄な空気、静けさ、および外光の採光を含んでいる。第2のグループは、簡潔にすべての12の条件を体験し、50%の予算枠までそれぞれの条件について被験者が好む改良を選択させた。第3のグループの被験者は第2のグループメンバーとランダムにペアを結び、それぞれの組は第2のグループによって選ばれた環境に暴露された。第4のグループは完全に改善された環境に暴露された。	

## 2.3 事例調査

建築空間部会と共に先駆的施設の外視察を行った。設備的視点から当部会で検討している環境要素マップのフォーマットにあわせて各施設の概要をまとめた。

## 2.4 WEB版SAP(WEB版主観評価票)の開発と試行

前期に提案したSAP2008(Subjective Assessment of workplace Productivity)の評価の利便性を向上させるため、WEB版を開発した。当部会委員の協力により試行を行い、SAP小委員会と連携して一般公開に向けた検討を行った。

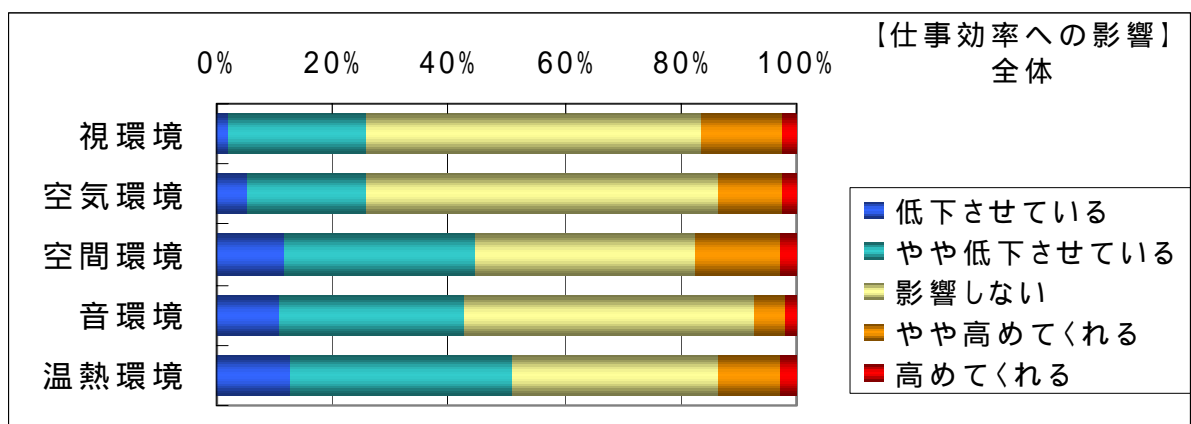


図1 プレ評価実施結果(2008年9~10月:12社355名回答)

## 2.5 知的生産性調査（評価）手法の整理

建築空間内の知的生産性を調査する手法を検討するに当たり、人の生理や行動を把握・分析する手法を収集し、その概要について整理した。その結果、17の指標が収集された（表-2）。これらは「視覚関連」「脳関連」「心拍・血圧関連」「唾液関連」「行動関連」「音声」の項目に大別される。個々の指標について、実際のオフィスにおける適用可能性の可否についてその概要とともにまとめた。

表-2 知的活動に関する生理反応の調査測定手法概要

分類	名称	概要
視覚関連	注視点（アイマーク）	<ul style="list-style-type: none"> <li>視野内で眼球が注視した点および注視した時間を測定。</li> <li>注視した時間の大小と対象の認知の程度を対応付ける。</li> <li>「見たこと」はデータ化できるが、それによってどのような印象を得たのかは不明。</li> <li>自動車運転時の眼疲労との関係など検討例あり。</li> </ul>
	瞬目数	<ul style="list-style-type: none"> <li>まばたきは疲労、視認性の低下や驚き等による情報処理の中断、覚醒度および集中力の低下により頻発する。時間あたりの瞬目数により、疲労や集中状態について推定する指標として利用。観察によりカウントでき測定が容易。</li> <li>心理的な気詰まり感でも頻発する。</li> <li>心理実験で用いられることが多い。</li> </ul>
脳関連	脳波	<ul style="list-style-type: none"> <li>脳のリズミカルな電位変動。脳波は0.5-3Hzの(delta)波、4-7Hzの(theta)波、8-13Hzの(alpha)波、14-35Hz程度の(beta)波、40Hz前後の(gamma)波に分類</li> <li>波とそれより低周波の脳波は、脳の大脳皮質の活動が低下している状態を示す。リラックス状態と評価される場合もあるが、抑うつ状態でも波は観察される。覚醒度の指標として通常用いられる。低周波ほど覚醒度が低い。</li> <li>集中時にFm波が観察される場合がある。</li> <li>波、波は大脳皮質上の脳神経群の活動状態を示すが、筋電位や電磁波の混入との区別が必要。</li> </ul>
	誘発電位・事象関連電位	<ul style="list-style-type: none"> <li>脳波測定と同様の手続きであるが、刺激発生時を起点として、同期加算することにより、刺激に対する固有の反応を捉える。刺激にたいしてランダムに出現する脳波の周波数成分を相殺するため、50回前後の加算平均が必要。</li> <li>利用のために資格は不要。データ分析は人件費のみで特殊な分析費用は発生しない。</li> <li>15チャンネル程度の生体AMPとデジタルレコーダ、加算平均用プログラムが必要。</li> <li>複数の電極を頭皮上に設置し、活動部位を特定し、脳内の情報処理の性質とその処理過程を表現。測定部位は多いほど精度が増加。</li> <li>加算回数に応じて被験者の拘束時間が長くなる。</li> <li>微弱な電位を扱うので、歩行等の強い筋電位の発生する条件下での測定は難しい。</li> </ul>
	脳磁界(MEG)・SQUID(超伝導量子干渉計)システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>脳磁場(MEG)は脳機能検査として主に医学的に利用。超伝導現象を利用したSQUIDシステムにより検出が可能になった。</li> <li>大脳における神経活動に伴い発生する磁場を測定して活動部位を推定。脳波と異なり脳深部の活動も把握可能。位置推定の精度は3~5mm、時間分解能は1ms程度と高精度。</li> <li>感覚刺激や言語、音声に対する脳活動部位を推定。情報処理の精度は電位測定より高くなる。</li> <li>脳機能研究に用いられ、建築学分野での検討例は少ない。</li> </ul>
	fMRI	<ul style="list-style-type: none"> <li>神経活動に伴う血液中のヘモグロビンの酸素化・脱酸素化に感度を持つ撮像法により、血液の供給量の多い脳の部位を推定。</li> <li>実験では安静状態と作業状態をとり、その差分により作業時の脳活動部位を推定。</li> <li>造影剤を用いるか、血液中のヘモグロビンをトラーセする。侵襲性の場合、医師による実施が必要。また、1.5テスラ以上の強磁場に被験者を暴露するため、体内に電磁誘導による電場が生じる可能性あり。厳密には測定による身体影響は不明。</li> <li>シールドルームと測定前室を含む設備が必要。</li> </ul>
	近赤外光計測・近赤外分光法(fNIRS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>近赤外光を頭皮に照射し、その反射光を測定する。光の波長ごとの減衰の比率により、ヘモグロビン中の酸素化・脱酸素化の変動を捉え血流動態を定量的に測定可能。最近10年間に普及が進んでいる新技術。</li> <li>装置は小型で大規模施設は不要。電磁的なノイズの影響を受けにくく、装置への拘束などの被験者への負担が少ない。</li> <li>頭皮下2cm程度の深度以内の大脳皮質上の活動のみ観察可能。</li> <li>建築学における検討事例は少ない。</li> </ul>
心拍・血圧関連	心拍数	<ul style="list-style-type: none"> <li>通常、1分あたりの心臓の拍動数。</li> <li>心拍数は交感神経系、副交感神経系の二重の支配を受け、交感神経が優位になると心拍数は増加し、また心電図の電位の立ち上がりも急峻。運動、緊張やストレスにより心拍数は増加。</li> <li>安静時と運動時の最大心拍数の差分により、運動強度を測定する指標としても利用。</li> </ul>
	心拍変動(Heart Rate Variability)・R-R間隔変動係数(CV-RR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>心拍の拍動間隔の分散。交感神経機能と副交感神経機能相互の活動の優位性の違いにより、分散の幅が変化。分散が大きき場合、副交感神経優位。スペクトル解析で主たる変動の周波数帯域の違いにより交感・副交感神経系の支配の割合を検討。心電図QRS波のピーク、R-R間隔の変動を観測し、R-R間隔変動係数(CV-RR)として測定する場合もある。CV=SD/平均R-R間隔×100(%)。</li> <li>緊張感など気分を示す指標として利用。</li> </ul>
	指尖脈波	<ul style="list-style-type: none"> <li>指先にセンサを装着して、脈波を測定する。脈波には動脈の拍動と呼吸、基線動揺の成分が含まれている。0.3Hz以下が基線動揺成分、0.1Hz前後の周波数成分が拍動成分。</li> <li>心拍の簡易的な測定として使われる場合は、心拍数と同様に、一定時間内の拍動数が多い場合、運動量の増加や安静時に交感神経系優位な緊張状態として判断。</li> <li>交感神経の遮断で基線動揺が消失することから、基線動揺成分の増加は交感神経系の賦活を示すと考えられる。情動と対応し、不安で基線動揺が増加。</li> <li>建築学での研究例は少。</li> </ul>
唾液関連	唾液(コルチゾル)	<ul style="list-style-type: none"> <li>唾液中に含まれるホルモン、コルチゾルの上昇は、短期的なストレスに対して上昇。</li> <li>唾液中コルチゾル濃度(pmol/ml)を測定</li> </ul>
	唾液(メラトニン)	<ul style="list-style-type: none"> <li>松果体から分泌される、入眠を促進するホルモンであるメラトニンの唾液中の分泌量の増減により、覚醒水準を評価する。</li> <li>夜間にもっとも分泌される。夜間に照明などの光に暴露されると分泌量は減る</li> </ul>
	唾液(アミラーゼ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ストレスにより分泌される免疫作用をもつ生理活性物質の増加と同時にアミラーゼの分泌量が増える。その現象を利用して、唾液中へのアミラーゼ分泌量を測定することにより、間接的に免疫レベルでのストレスへの反応量を推定。</li> <li>アミラーゼ活性(AMYa)[KU/L]を測定する。ストレスにより活性は上昇し、リラックスにより下降。</li> <li>ストレスを与えてからアミラーゼ活性が高まるまで10分程度以内。内分泌系の測定指標であるために、神経機能系の反応に比べると反応速度は遅い。短期的なストレスの評価指標としては十分に使用可能</li> </ul>
行動関連	モーションキャプチャ	<ul style="list-style-type: none"> <li>身体の各部位にマーカークないしセンサーを付けて、3次元動作解析するシステム。身体動作の経時変化を表現。</li> <li>スポーツでのフォーム解析で多用。建築学においては床の段差や家具配置などに対する身体動作の負荷の検討や、群衆流動研究に利用。</li> <li>高齢化に対応した医療福祉分野でも使用</li> </ul>
	3次元加速度センサ	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型3次元加速度センサを身体各部位に装着し、その部位の加速度を算出する。加速度の変化から、身体運動量を測定。</li> <li>被験者の発声を録音し、ターケンス・プロットによりカオスアトラクタを生成、リアプノフ数により疲労状態を検出。塩見のプロトタイプシステムの場合、音声信号を11025Hz(8bits/sample)で1秒間サンプリングし、4次元的にカオスアトラクタを生成させ、初期のリアプノフ数を導出。疲労している場合、カオスアトラクタの軌道は不安定さを示す。事例では疲労により初期のリアプノフ数は低下。</li> <li>音声のカオスアトラクタのゆらぎの不安定性の機序についてはまだ未解明。音声の揺らぎは、例えばノイズ下での受聴条件(聴こえないと相手に伝えるために発声を変え、など)や体調、感情の変化、集中度とも関係することも可能性として考えられ、機序の解明には、今後の研究の蓄積が必要。利用のために資格は不要。データ分析はパソコンによる。人件費のみで特殊な分析費用は発生しない。</li> </ul>
音声	音声疲労計測システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>被験者の発声を録音し、ターケンス・プロットによりカオスアトラクタを生成、リアプノフ数により疲労状態を検出。塩見のプロトタイプシステムの場合、音声信号を11025Hz(8bits/sample)で1秒間サンプリングし、4次元的にカオスアトラクタを生成させ、初期のリアプノフ数を導出。疲労している場合、カオスアトラクタの軌道は不安定さを示す。事例では疲労により初期のリアプノフ数は低下。</li> <li>音声のカオスアトラクタのゆらぎの不安定性の機序についてはまだ未解明。音声の揺らぎは、例えばノイズ下での受聴条件(聴こえないと相手に伝えるために発声を変え、など)や体調、感情の変化、集中度とも関係することも可能性として考えられ、機序の解明には、今後の研究の蓄積が必要。利用のために資格は不要。データ分析はパソコンによる。人件費のみで特殊な分析費用は発生しない。</li> </ul>

## 2.6 知的活動と環境性能の因果ネットワーク

知的活動と環境性能の様々な因果関係を構造的に整理し、建築・設備仕様から環境性能、人間反応を経て知的作業に至る多数の影響パスからなるネットワーク図を作成した(図-2)。知的活動の三階層モデルに基づいて各階層の知的作業を区別した上で、人間反応として「集中」「リラックス」「リフレッシュ」「コミュニケーション」の4つの意識・行動状態に対して影響要因となる環境性能および建築・設備仕様を各物理環境について網羅的に列挙した。さらには本ネットワーク図をベースに、「集中のための空間」「フォーマル・コミュニケーションのための空間」「インフォーマル・コミュニケーションのための空間」「リラックスのための空間」「リフレッシュのための空間」各々において重要となる影響パスを抽出し、設計上留意すべき環境性能を明示したネットワーク図を空間用途毎に作成した。

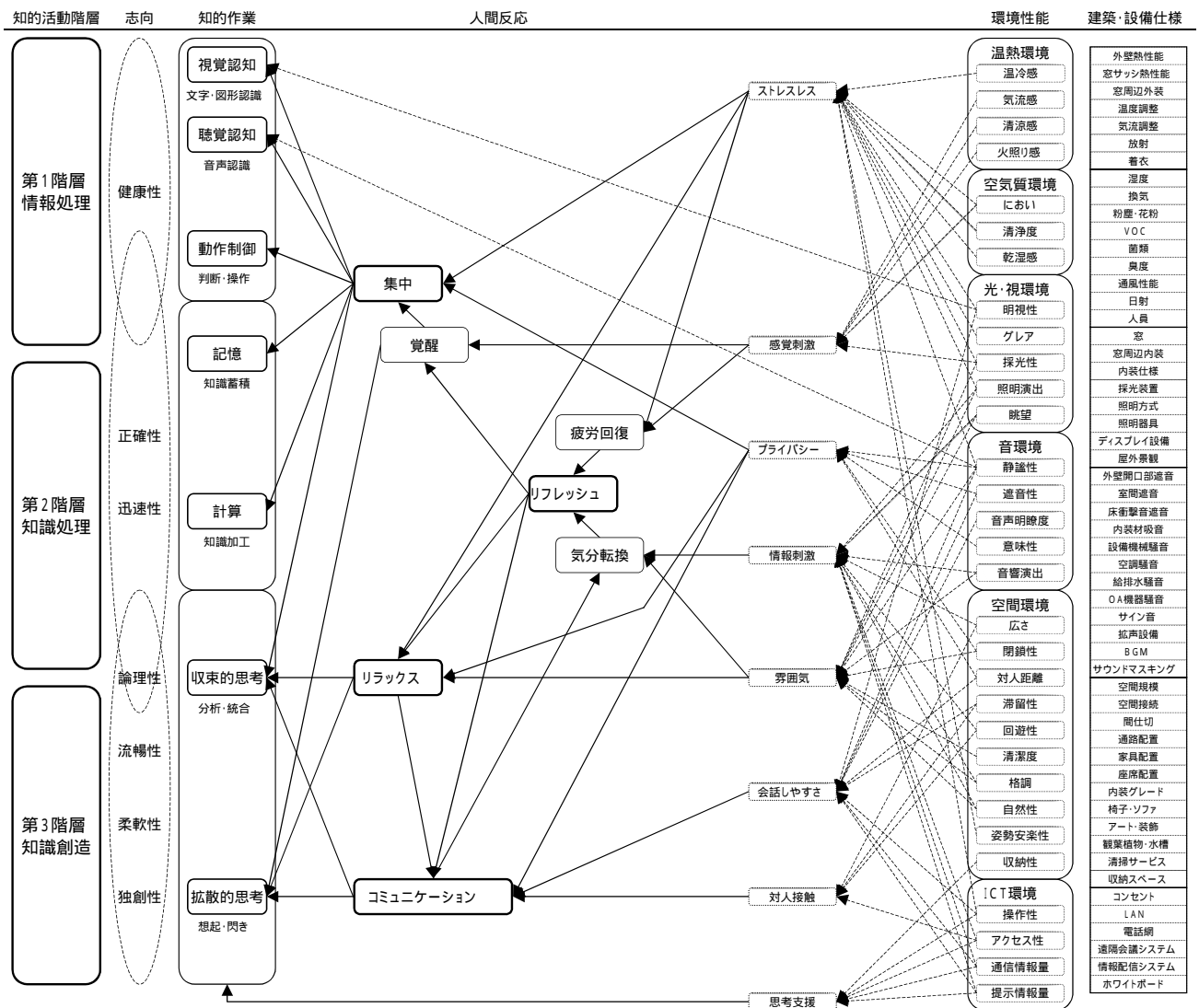


図-2 知的活動と環境性能の因果ネットワーク (抜粋)

## 2.7 環境要素マップ（空間・環境・心理マトリクス）

知的生産性の主観調査や既存文献により、知的生産性と満足度との相関性が高いことが想定される。また既存ビルでは最新のビルにおいても、知的生産性の高い環境が維持されているという居住者の意識は低く、各種の環境要素に対する満足度も高くない場合が多い。

従来の建築計画では、健康性や快適性を目標にして、不満やクレームの無い計画が行なわれてきたが、依然残る不満の解消を図り、さらに、よりポジティブな価値をもつ建築空間を目指した熱環境、空気環境、光・視環境、音環境、ICT 環境のあり方を考え、建築用途別にこれからの新しい目標（価値）を洗い出し、その目標に向かって建築・設備計画がどうあるべきかを検討した。知的生産性に係わる空間要素として、集中する空間、フォーマル/インフォーマルなコミュニケーション空間、リラックス空間、リフレッシュ空間に分類した。

これらの空間への対応は、第1階層から第3階層までのレベルの視点で考えることが可能であるが、今回の検討では主として第2階層、第3階層を中心とした検討を行い、各空間要素に対して空間と建築・設備計画のあり方を議論検討し、環境要素と建築・設備分類のマトリクス上における各種技術の現状把握を行なった。この具体的な内容を検討し、項目をブレイクダウンした。

表-3 第3階層を意識した知的生産性を向上させる環境・設備計画手法（環境要素マップ）

空間・環境・設備計画(PLANNING)							
	空間の例	光・視環境	温熱環境	空気環境	音環境	情報環境	使用法 (FM)
人の意識・行動・体験(BEHAVIOR)	集中	ワークプレイス <建築計画> ・覚醒度の上がる自然光 <照明計画> ・タスクアンビエント照明	<空調計画> ・温熱環境選択性 ・空調制御方式 ・放射空調 ・タスク空調	<換気計画> ・外気取入量(空気齢) ・換気効率 ・フィルタ性能	<建築計画> ・高音性の窓サッシ・換気口 ・高音性の間仕切壁・扉 <設備計画> ・サウンドマスキングシステム	<建築計画> ・フレキシビリティ	<建築計画> ・内装の色彩
	コミュニケーション (フォーマル)	ミーティングスペース <建築計画> ・適度な眺望 ・グレアレスな採光 <照明計画> ・緊張感が過度に保てる照度分布および高い色温度	<空調計画> ・空調制御方式	<換気計画> ・十分な換気 ・におい(香り)	<建築計画> ・高音性の窓サッシ・換気口 ・高音性の間仕切壁・扉 ・音声明瞭度(STI) <設備計画> ・高音質の遠隔会議システム ・高音質の拡声システム ・サウンドマスキングシステム	<ICT計画> ・AV環境(プレゼン設備) ・高品質通信環境	<建築計画> ・他の人の視線が遮られる仕器配置 <設備計画> ・ホテリングシステム
	コミュニケーション (インフォーマル)	移動空間 食堂 カフェ <建築計画> ・外部とのつながりを感じさせる適度な採光の導入 ・気分転換になる外部情報が得られる眺望 <照明計画> ・リラックスできる照度と光色 ・他の空間との分譲が意識できる照度や光色の違い	<空調計画> ・空調制御方式	<換気計画> ・十分な換気 ・におい(香り)	<建築計画> ・音声明瞭度(STI) <設備計画> ・高音質の音響再生系BGM	-	<建築計画> ・セミクローズド空間 ・適度なプライバシーの得られる仕器配置 <設備計画> ・ホテリングシステム
	リラックス	食堂 カフェ <建築計画> ・自然採光 ・採光調光制御 ・周辺の眺望 <照明計画> ・照度分布(回遊性と引付効果付与) ・タスクアンビエント照明	<建築計画> ・隠だまり <空調計画> ・パーソナル空調 ・気流選択性 ・放射暖房	<建築計画> ・自然通風 風通し ・草木の香り、木の香り <換気計画> ・パーソナルベンチレーション ・フィルタ性能(清浄度の高い空気)	<設備計画> ・高音質の音響再生系BGM	-	<建築計画> ・パーティションレイアウト ・セミクローズド空間
	リフレッシュ	アトリウム ガーデン <建築計画> ・疲労回復する自然採光 ・気分転換になる外部情報が得られる眺望 <照明計画> ・疲労回復のための照度(分布)と低めの色温度 ・他の空間との分譲が意識できる照度や光色	<建築計画> ・隠だまり <空調計画> ・気流選択性(刺激) ・パーソナル空調	<建築計画> ・自然通風 風通し ・草木の香り、木の香り <換気計画> ・におい(香り)	<建築計画> ・自然音(雨音、水音、風音)	-	<建築計画> ・オープン空間 ・適度なプライバシーの得られる仕器配置

## 2.8 部会・WGの開催状況

### (1) 環境・設備部会

- 第1回環境・設備部会 平成20年5月14日
- 第2回環境・設備部会 平成20年6月18日
- 第3回環境・設備部会 平成20年8月4日
- 第4回環境・設備部会 平成20年10月6日
- 第5回環境・設備部会 平成20年11月5日
- 第6回環境・設備部会 平成20年12月3日
- 第7回環境・設備部会 平成21年1月28日
- 第8回環境・設備部会 平成21年3月2日

### (2) 熱・空気WG

- 第1回熱・空気WG 平成20年4月24日
- 第2回熱・空気WG 平成20年7月24日
- 第3回熱・空気WG 平成20年11月18日
- その他、適宜WGメンバーとメール会議

### (3) 音環境WG

- 第1回音環境WG 平成20年4月30日
- 第2回音環境WG 平成20年10月15日
- その他、適宜WGメンバーとメール会議

### (4) 光環境WG

- 適宜WGメンバーとメール会議

## 3. 今後の課題と活動方針

- 3.1 引き続き文献調査を継続し、調査結果をデータとして蓄積する。
- 3.2 国内外の事例を調査して各種の環境側面が知的生産性に与える具体的内容、及びその計画手法を検討する。
- 3.3 SAP小委員会と連携して、WEB版のSAPをホームページ上に公開し、一般への利用を促進する。同時にアンケート結果を解析し、その活用方法を検討する。
- 3.4 知的活動と環境性能の因果ネットワークとの関連性を考慮しながら、環境と建築・設備の相互の関係性を考察した環境要素マップを洗練し、計画時に利用しやすい形にまとめる。
- 3.5 知的生産性を向上させる具体的手法案を提案する。

従来、建築環境の計画に当たっては快適性や保険衛生といった視点だけから、その空間のあるべき姿・目標が設定されたが、より多面的な側面からあるべき姿を検討し、知的生産性の高い計画モデルを提案する。

環境・設備部会 部会長：川瀬 貴晴（千葉大学大学院）