



連載第28回 知的オフィス環境の科学

照明、空調、そして擬似窓などで 環境を変化させ知的生産性の高い オフィスの創造に向けた研究を



今年3月、同志社大学の京田辺キャンパス内に完成した知的オフィス環境創造システム「D-SOL」は、知的オフィス環境コンソーシアム主催者として照明や空調の先進システムを研究してきた三木光範教授が新たに誕生させた画期的な実験施設です。照度から色温度まで多様な明かりの条件を可能にした照明システム、完全な個別最適化を目指した空調システム、外の景色を映して場所との関係性を意識しながら様々な情報を得ていく擬似窓などによる研究は、評価の難しい知的生産性と環境との関係を明白にしてくれるものと期待されています。ここから得られる知見は、今後のオフィスづくりに必ず役立つでしょう。今回はこの新しい施設を、いち早く取材させていただきました。また、D-SOLプロジェクトのメンバーで、本誌連載コーナーでお馴染みのデザイナーの大倉清教氏にも加わっていただき、実験装置の概要やこれからの抱負についてお話を伺いました。

三木光範氏

同志社大学理工学部教授
知的オフィス環境コンソーシアム会長
工学博士

ファシリティ・サイエンス ● はやわかりメモ

■ 知的オフィス環境の創造研究へ

同志社大学の京田辺キャンパス内に新しく生まれた知的オフィス環境創造システム「D-SOL」は、照明や空調、視環境などを自由に変えながら、オフィスの知的生産性を高めるにはどういう方法があるか研究できる施設で、世界的にも例がないだけに大きな成果が期待されている。

■ 生体情報で知的生産性を評価

知的生産性の評価は総合的な指標に頼るしかないが、その一つとして光トポグラフィによる脳内血流の酸素濃度測定を利用。そのほか、最新の測定機器の利用を計画。

■ 照明や空調の専門家にない発想を!

三木光範教授の専門であるコンピュータの分散処理システムのアルゴリズムを活かすことで照明や空調のインテリジェント制御を実現。個別最適化への方法論を確立しようとしている。

■ 未来の技術にも対応した研究施設

照明では既存の蛍光灯と新しいLEDの比較ができるほか、今後、商品化されていく先進照明の検証も可能な仕様になっている。

■ 個別空調を可能にする家具?

床にきめ細かく空調の吹き出し口を配置し、冷風の場合はそこからタワーで上部に導いて個別最適化を可能に。理想とするのは家具へのジョイントで、デスクを空調システムに組み込むなどのアイデアに期待。

■ 擬似窓は風景ではなく関係性を映す

視環境研究の一環としてバーチャルな窓も実験。人は窓から得られる外部の情報をもとに行動するので、関係性のある風景を映すことが重要。

■ オフィスの新デザインを考える

D-SOLプロジェクトにはデザイナーの大倉清教氏も参加し、照明機器や家具などの新しいデザインに挑戦している。

▼「ファシリティ・サイエンス」の下記バックナンバーは<http://www.websanko.com>をご覧ください。

・09年 II号 第27回 CASBEE (建築物総合環境性能評価システム)の科学・08年 IV号 第26回 米国の環境対応評価システムLEEDの科学・08年 III号 第25回 スーパーエコビルの科学・08年 II号 第24回 グリーンアメニティの科学・07年 IV号 第23回 ユニバーサルデザインの科学 後編・07年 III号 第22回 ユニバーサルデザインの科学
・07年 II号 第21回 照明環境の科学・06年 IV号 第20回 労働ストレスの科学・06年 III号 第19回 コンピュータウイルス対策の科学・06年 II号 第18回 自然換気と窓開けの科学・05年 IV号 第17回 危機管理の科学・05年 III号 第16回 グリッド天井の科学・05年 II号 第15回 近未来の電力燃料電池の科学・04年10月号 第14回 輻射式冷暖房の科学・04年 7月号 第13回 建築物の環境性能評価システム・04年 4月号 第12回 椅子の科学・03年 11月号 第11回 ガラスの科学・03年 9月号 第10回 パラスタ・スコアカードの科学・03年 7月号 第9回 分煙の科学・03年 5月号 第8回 あかりによるオフィス空間の生かし方・03年 3月号 第7回 セキュリティの科学・02年 11月号 第6回 消防用設備(スプリンクラー)の科学・02年 9月号 第5回 エレベーター(昇降機)の科学・02年 7月号 第4回 リスクマネジメント(地震対策)の科学・02年 5月号 第3回 水(トイレ)の科学・02年 3月号 第2回 温感(空調)の科学・02年 1月号 第1回 あかり(照明)の科学

知的オフィス環境の創造につながる 世界でも例のない画期的な研究施設

……今日は、完成したばかりの知的オフィス環境創造システム「D-SOL」について、お話を伺わせてください。

完成といっても内装と設備の工事が終わった段階で、実験に必要な機器などがすべて揃ったわけではありません。本格的に運用を始めるのは夏頃からになると思いますが、この機会に、オフィスづくりに関わるすべての方に興味を持っていただければうれしいですね。

……それだけ意義のある研究施設なのですね？

間違いなくそう言えます。施設の概要を説明しておきますと、70㎡弱のスペースに「オフィス」を構築しています。そこでは、分散最適化照明空調システムによって明るさと空気の状態を非常にきめ細かく調整でき、様々な条件のときにそこで作業をする人にどんな影響を及ぼすか、最新の生体情報センシングシステムで調べていきます。また、視環境可変型オフィスシステムといいまして、目に入る情報をいろいろ変えていくことによる生体の反応も合わせて調べ、最終的には知的生産性の高いオフィス環境とはどういうものか、探っていくのが目的です。

……このような施設は、あまり前例がありませんね。

私も調べてみましたが、日本はおろか、世界でもないはずですよ。これだけの施設をつくってまで、知的オフィス環境について研究しようという人がいなかったのですね。

……知的オフィス環境の定義もはっきりしませんでしたからね。

そういう問題もあって、同志社大学では2006年12月に、沖電気工業、日立製作所、松下電工（現、パナソニック電工）、三井物産戦略研究所

と知的オフィス環境コンソーシアムを設立したのです。

これからの時代のオフィスが知的生産性と創造性を重視する個別分散・最適化環境空間を実現させる方向に進むべきであることは、ほとんどの人がわかっていると思います。しかし、そのソリューションがなかなか見つからない。私たちはオフィスの環境インフラストラクチャーである照明システムと冷暖房システムの機能性を高めてインテリジェント化するだけでなく、他の電気・電子機器との連携により、従来、実現できなかった高度な機能的オフィス環境をつくり出そうと考え、研究を続けてきたのです。

……その成果の一つが、今回の研究施設の新設につながるのですね。

そうです。新しい研究施設では照明や空調について高度に制御できるシステムを完成させただけでなく、日立製作所が開発した光トポグラフィを駆使して生体情報を得ることで、脳の活動状況を調べていくつもりです。

……それが知的生産性の評価につながるのですか？

評価の一つにはなるでしょうね。知的生産性の評価は難しく、まだ、誰もが納得できるような測定手法は確立されていません。

今のところ、広く行われているのは被験者へのアンケートと数学テストでしょう。アンケートは問題の設定によって結果が大きく左右されることがありますし、数学テストは「計算や図形の問題をたくさん解けることが知的生産性なのか？」といった疑問が残ります。

一方、光トポグラフィは脳内の血流をレーザー光線によってリアルタイムに観測し、スペクトル分析から血中ヘモグロビンに含まれる酸素濃度を測定する装置です。したがって、脳の働きが活性化しているかどうかについては客観的で科学的なデータがとれます。

ただ私は、光トポグラフィの結果がすべてだとは思っていません。「いい企画をどれだけ思いつけるか？」といった意味の知的生産性は色々な評価軸で調べないと判断しにくいでしょう。ですから、判断の一つとして脳内血流の酸素濃度は有効だろうと考えているだけです。そして、様々なオフィス環境を再現しながらそれを調べられる施設は、ここしかありません。



擬似窓に建物の外の景色をハイビジョンカメラで表示する実験。本物の景色と見間違えくらいリアルに映しだしている。

照明から空調まで個別で最適化する ハードウェア上の斬新な工夫の数々

……それでは、施設の内容について、もう少し詳しくお聞かせください。分散最適化照明空調システムはどのようなオフィス環境を実現できるのですか？

照明については、現在はまだ白色蛍光灯と電球色蛍光灯しか設置していませんが、最終的にはグリッド式の天井パネルすべてを使って、次のような4パターンの照明機器を配置していきます。

【すべてコンピュータ制御で調光・調色が可能】

- ・白色・電球色蛍光灯
- ・RGB3色の蛍光灯
- ・白色・電球色LED。さらにフルカラーLED
- ・有機ELなど将来の先進照明システム用の空きスペース

RGB3色の蛍光灯

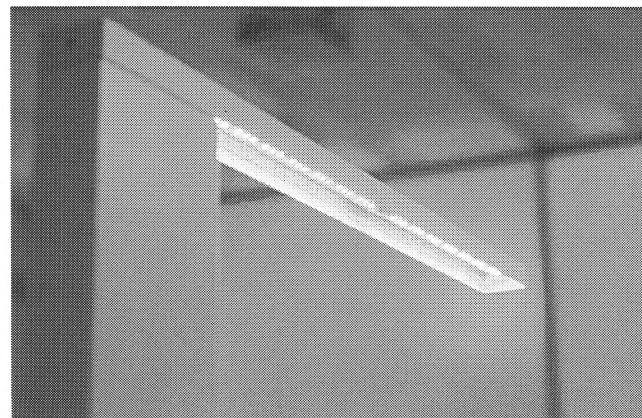
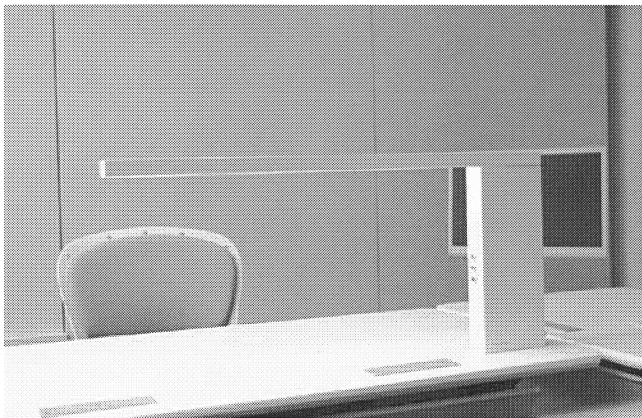
[R] レッド、[G] グリーン、[B] ブルーの3色でフルカラーを表現する蛍光灯。3色をすべて重ねると白色になる。

白色LED (Light Emitting Diode)

電気を流すと光を発光する半導体の一種。1993年に青色LEDが開発されたことで、色の3原則が揃い白色LEDが実現した。蛍光灯よりも発熱量が少ないのが特徴。

有機EL (Electro Luminescence)

電圧をかけることで、有機物自体が発光する現象を利用した照明システム。基板上に薄い膜を重ねた構造で、光源自体が面発光する。



2009年夏から本格稼働をする知的オフィス環境創造システム「D-SOL」。人工知能によるアルゴリズムで照明や空調、可視環境などの空間を演出する。

これまでも、照度の変更やRGBによる色の調整によって照明環境による違いを調べたケースはありましたが、白色蛍光灯とこれからの照明システムであるLEDとの比較をオフィスと同じ空間で行うのは、私たちが初めてになると思います。

……生体への影響に違いはあるのでしょうか？

あると思いますね。音楽でもアナログレコードとデジタルCDでは「CDのほうが疲れる音だ」と答える人が多いように、LEDは蛍光灯に比べて光の帯域が狭く、いわゆる「硬い光」になりますから、疲れを感じる人はいるかもしれません。

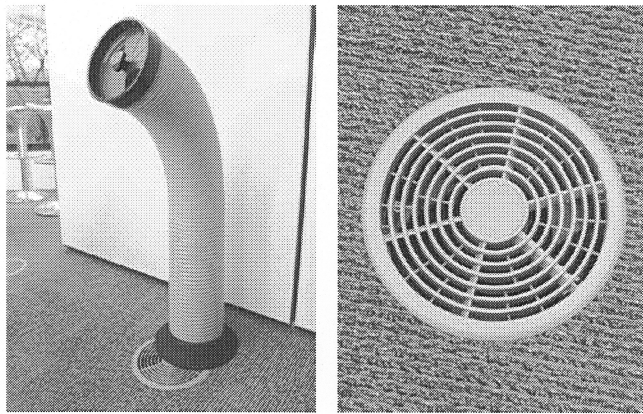
ただ、たとえそういう結果になったとしても、「LEDはダメだ」と考えるのは早計です。LEDにも様々なレベルのものがあつたりし、インテリジェント調光システムと組み合わせることで光を柔らかくできるかもしれない。つまり、そういう可能性を探るのも研究目的の一つです。

……ですから、先進照明用のスペースも用意してあるのですか？

照明はまだ進化していきますが、そのための実践的な実験施設は少ないのです。意欲的なメーカーがあればここを提供しますので、ぜひ共同実験をさせてください。

……空調の分散最適化はどういう方法で行うのですか？

この床は50cm×50cmのパネル約180枚で構成されているのですが、4枚に2枚の割合で吹き出し口を取り付け、施設内のどの場所でも個別に空調ができるようになっています。



……床から、直接、風が吹き出すのですか？

冬の暖房では下から緩やかな温風を出すのも有効ですが、夏の冷房ではそうもいきません。ですから、ここに一つの工夫を加えます。例えば試作品の一つでは、吹き出し口にジャバラのホースのようなタワーを立て、先端を自分に向けてすることで、直接、風を受けることができるのです。もちろん風量も調整できるようになっています。

……空調の温風や冷風をいったん床に導き、フロアの各場所からタワーで上に持ってくるというのは斬新な発想ですね。

個別空調を実現するにはこの方法しかないのですよ。まさか天井からいくつもパイプを垂らすわけにはいきませんからね(笑)。

将来的な構想は2つあります。

第一は、このタワーをもっとデザインセンスのいいものにし、オフィスの

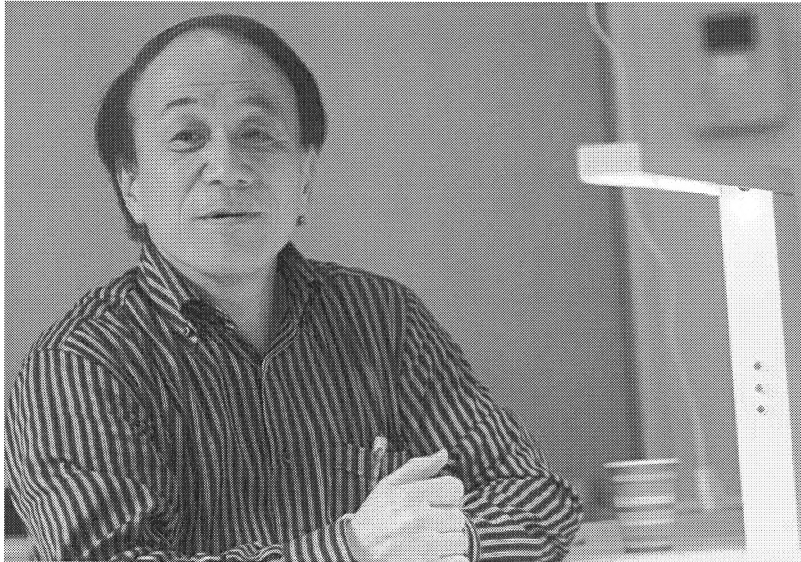
標準設備の一つにできないかというアイデアです。「1人に1本マイタワー」という形でオフィスに空調用のタワーが立っていれば、そこで調整することにより温度や風の条件を個人個人の好みに合わせられます。このタワーにはフックをつけて備品をかけられるようにしたり、電源や通信システムと組み合わせるなど、オフィスに必要な機能をすべてまとめることも可能となります。

第二のアイデアはこれをもっと発展させたものです。床の吹き出し口と家具をジョイントパイプでつなぎ、たとえばデスクの前面から風が出るようにすれば、タワーを使わなくても個別空調が可能になります。ですから、そういう製品や規格の提案を、ぜひ、お願いしたいですね。

コンピュータの分散処理制御技術が 知的オフィス環境の創造に寄与する

……三木先生はもともと情報工学の専門家だったそうですが、どうして知的オフィス環境の創造に深く関わるようになったのですか？

私は情報工学の中でもコンピュータの並列分散処理に基づくシステムの最適化が専門で、500台のパソコンをつないで1つの巨大なマシンと同じ動きをさせるといった研究を行ってきました。それだけの台数をコントロールするには人工知能によるインテリジェント制御システムが欠かせません。そして次に、そのシステムをほかの分野に応用できないかと考えたとき、最初に手掛けたのが、この『オフィスマーケット』でも紹介していただいた知的照明システム(Smart Lighting System)だったので(編集部注、2007年9月号、スペシャルインタビュー)。



……照度や色温度を自由に換えられ、最適化できる知的照明システムの登場は、これまで「明るければいい」と考えられていたオフィスの照明環境を大きく見直すきっかけになりました。

照明に手をつけたら、次には「空調の分散最適化に応用できないか?」といった話になり、そこから先ほどお話しした知的オフィス環境コンソーシアムの設立へとつながっていく。そして、どんどん建築関係へと引きずられていった格好です(笑)。しかしそのおかげで世界が広がり、感謝していますね。

……オフィス環境に興味をもたれたのは、研究者として魅力的だと思ったからですか？

様々な要素が絡みあい、しかも最終的に知的生産性という、まだ測りにくい評価基準との関係を考えていかなければいけないという課題は、確かに興味深いですね。また、個人的には新たな発見として、デザインの重要性に気づかされたのも良い経験でした。オフィスを構築するもののデザイン性によっても環境は大きく変わってきます。そのことを教えてくれたのは『オフィスマーケット』でも連載されているケブラデザインスタジオの大倉(清教)さんで、今回の知的オフィス環境創造システムの計画でも、家具や照明機器からエントランスのオブジェ、ロゴデザインに至るまで、全面的に協力をお願いしました。

……オフィスや施設と異なる分野の出身者として、現在のオフィスを取り巻く環境についてどう思われますか？

オフィスはこれまで建築や設備の専門家たちによってつくられてきました。しかし、従来の事務処理型のオフィスから現在の知的生産型オフィスへと移行していく段階において、これまでの専門性が正しく活かされていないというか、それが逆に邪魔をして、進歩を妨げているようにすら感じます。

……それはどういうことでしょうか？

空調は最も端的なケースでしょうね。従来の空調会社の発想は、室内をすべて均質の温度にし、暑さや寒さを感じなくしようというものです。これは照明も同じで、とにかく均質な空間を実現するために惜しげもなくパワーを費やそうとします。

……「オフィスのどの場所も1000ルクス以上にしなければならぬ!」という考え方はまさにそうですね。

しかし、オフィスには色々な人が動いていて、暑さや寒さ、明るさに関する好みは違いますし、また作業の内容によってもベストな条件は変わってきます。したがって、理想としては分散最適化しかない。ところが、専門家ほどそれをあきらめてしまうのですね。

たとえば分散空調を実現しようと考えていたら、ある空調メーカーの技術者に「私は20年間以上、その開発をしてきたがダメだった。だから絶対にできない」といわれました。ただし私は、それを聞いて、余計に「できる!」と自信を深めたのですけれどね(笑)。

……それはどういうことですか？

技術的な話をすれば、空調では長いことフィードバック制御という技術で温度コントロールをしてきました。これは「室温が高い」という情報をセンサーが感知したら吹き出す空気の温度を下げるだけの単純なもので、しかも空調のきめ細かい制御には向かないことがわかっていました。空調の場合は、機器をコントロールしても室温が変化するまでかなりのタイムラグがあるので、フィードバック制御では追いつかないのです。

ところが、こういう制御を最も得意とするのが、私が専門に行ってきた人工知能によるアルゴリズムなのです。何分後に室温は何度になる」といった予測を様々な条件から判断して行いますから、タイムラグを見越して早めの温度調整ができる。オフィスのようにたくさんの吹き出し口がある複雑系の空間の制御には、この方法しかありません。

空間を均一温度にしたいと考える空間の専門家たちには、このような複雑な最適化アルゴリズムは不要です。しかし、不均一を積極的に活用する時代の到来と共に、私たちがこの分野に参加する意義があると感じたのです。

……発想の転換ですね。

それは制御アルゴリズムだけの問題ではありません。空調についても少し話すなら、最適化をする最大の目的は「そこにいる人に快適さを感じてもらうこと」であって、「暑くも寒くもない室温にすること」ではありません。しかし、長く空調の開発や工事に携わっていると、本来の目的を忘れてしまうのです。そして室内を温度計だけ持って走り回り、満足してしまおう。

しかし私の場合は空調の素人でしたから、根本に返って「最適化とは何か？」を考えることができました。すごく極端な話をしてみれば、室温なんかまったく調整しなくても、そこにいる人の脳に電極をつけて刺激を与え「快適だ」と思わせてしまえば、目的に近づいていることになります。

もちろん、そんなことは出来ませんが、例えば風鈴を使って涼しさを演出するとか、照明の色を青系にして涼しさを感じてもらう方法などを併用することは可能でしょう。そういう総合的な手法で知的オフィス環境の創造に寄与していければいいですね。

バーチャルな窓はなんでも映せるからといって ハワイや富士山の映像を表示してはいけない

……空間の総合的な演出といえ、今回の施設で試していく擬似窓もその一つですね。

建物の外の景色を映すためのハイビジョンカメラを設置しており、その映像をプロジェクターや液晶モニターで眺めることができます。つまりバーチャルな窓ですね。地下室のような窓をつくれな空間でも快適さを実現するための研究の一環として、このような試みに挑戦していきます。

……確かに、外の風景が画面に流れているだけでも落ち着きますね。

窓のある部屋でも、室内の照度を、ある程度抑えたり、外からの熱の輻射を避けるために窓を閉めたいときがあります。そういうケースでも擬似窓であれば、外の風景を眺められるのですね。

ここで大事なことは、窓なので建物の外の「関係ある風景」をリアルタイムで映さなければいけません。なんでも映せるからといって、ハワイや富士山の絶景ではだめなのです。

……それはどうしてですか？

窓の効用については海外で研究論文が発表されています。それによると、次の3つだそうです。



窓が及ぼす効果

- 1.現在の時刻がわかる。
- 2.現在の天候がわかる。
- 3.現在の居場所を再確認できる。

当たり前ようですが、これが重要なのですね。

現在時刻は時計でもわかります。しかし人間の感覚としては、風景からの情報も大事なのです。たとえば夏と冬では同じ夕方5時でも私たちの受け止め方はまったく変わってきます。そしてそういう情報をもとに生活をプログラミングしているのですから、やはり外が見えることは大事なのです。

同様に天候も、天気予報ではなく、その場の状況をリアルタイムで知ることが重要です。それによって外出するかどうかの判断や、自然の移り変わりを感じることもできますから。

地下室などに長くいるとこれらすべての感覚が失われるので、知的生産性は確実に落ちてきます。それほど窓は大切なのですね。

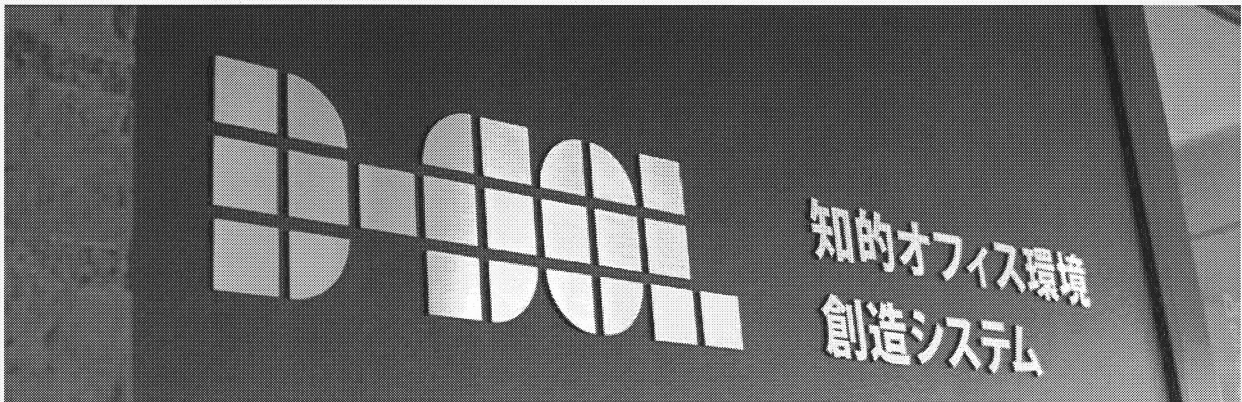
……擬似窓というのは今までになかったのですか？

実は事前に調べてみたところ、あるメーカーが製品化していたのですが、話を聞いてみると、『富士山なども映すことができます』ということだったので、まったく別の発想のシステムだと思いました(笑)。

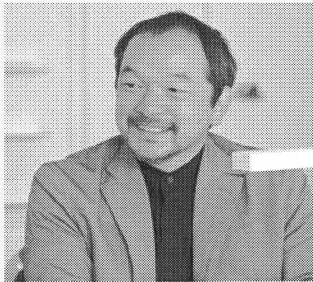
ここは実験施設ですから、私たちが富士山やハワイの映像を流して生態情報に変化があるかを調べるつもりです。ただ、窓の効用ということであれば、人はそこに自分との関係性を感じようとするのですから、現在の今の映像を流すことが大事だと思っています。

……色々実験のプランは膨らみますね。

こういう施設は今までなかったですし、おそらくこれからはあまりできないでしょう。ですから、色々なことを試してみたいですね。照明や空調、可視環境だけでなく、様々な家具や機器まで、色々な条件を比べることで、知的生産性を高めるポイントを発見できれば、オフィス環境の改善に貢献できるはずですよ。



知的オフィス環境創造システム「D-SOL」への期待



大倉清教氏

有限会社ケプラデザインスタジオ
代表取締役社長

同志社大学の知的オフィス環境創造システム「D-SOL」は、理工学部教授の三木先生による先進的な知的照明や分散最適化空調の理論で実現し、さらに本格的な実証実験を行うために最新の技術を集積した実験装置です。そこで全体のコーディネートとデザインを担当させていただいたことは大変光栄であり、幸運なことでした。

オフィス環境をこれほど自由に個別制御ができて、しかも科学的に観測出来るものは、他にないと思われま。目標としているテーマは、多様な場の快適さを創出し、その全体調和させるものですが、結果的に省エネルギーに繋がる画期的なシステムとして今後、各界の注目を集めることになると思われま。以下に私なりの「D-SOL」デザインコンセプトをまとめて記述します。

■多様に変化する実験システムが、「未来のオフィス」を示唆

天井および間仕切り、そして設備、家具にいたるまでモジュールを統一し、移動させて組み合わせることで全く異なった多様な空間を演出することが可能です。これは先進オフィスの多様性要求を比較実験するためのものですが、同時にフレキシブルな環境を具備した理想的オフィスのケーススタディとも言えるのです。

■様々なコントロールを可能とした「ロボット空間」

「D-SOL」は一見、無彩色を基調とした普通の会議室のようですが、実はあらゆる機器がコンピュータを搭載して各々が自律的に働き、LANによってネットワーク制御可能な装置空間なのです。環境や人体のセンサーと照明や空調の制御システムを駆使して、照明や色彩、空調など室内環境を自由にコントロールできます。いってみれば環境ロボットであり、様々なデータをそこから抽出し、解析することが可能です。

■楽しく環境をコントロールする「個別制御」の試み

究極の個別制御は光や色、空気の状態を個人の要求にあわせて適応させることです。「D-SOL」プロジェクトで、いくつかの実験的な装置の開発を行いました。例えば床に設けられた空調の吹き出し口にジャバラパイプの「個別空調ダクト」、RGBを個別に調整して光を変えるコードレスのタスクライト、間仕切りに取付けるLEDのパネル照明、天井や壁の色を変化させるアンビエント照明などです。これらの多くは個別制御を自分で楽しみながら操作できるマニュアル制御としています。

■コラボレーションでさらに進化する「生命体」のようなシステム

以上のようにD-SOLは個々の要素がネットワークで繋がり、全体システムを協調させる実験装置です。私の提唱する「自律協調」のワークスタイルには、このような自律分散最適化の基本理念を持つ環境が不可欠であることをあらためて実感しました。

今後は空間制御の研究だけでなく、さらに心理学やシステム工学など異分野との協業実験によってさらなる進化を遂げていくことでしょう。そしてここから生まれた成果が一般オフィスに拡がり、この装置空間が特別なものでなくなる日が来ることを期待しています。

その願いを込めて、実験室の前室には「地下茎で繋がる生命体」をイメージした巨大孟宗竹のオブジェ「MOSRA」を設置しました。



知的オフィス環境創造システム

【D-SOL (Doshisha University Smart Office Laboratory) 】

同志社大学(京都府京田辺市多々羅都谷1-3)

理工学部インテリジェント情報工学科

香知館1階 KC-111 知的オフィス環境創造システム実験室