視　覚　プロジェクションマッピング　錯　覚

R&D ホットコーナー ソリューション

変幻灯――止まっている対象を錯覚的に動かす光投影技術

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

河邉 隆寛（かわべ たかひろ）/吹上 大樹（ふきあげ たいき）/澤山 正貴（さわやま まさたか）/西田 眞也（にしだ しんや）

NTTコミュニケーション科学基礎研究所では，止まっている対象を錯覚的に動いて見せる光投影技術「変幻灯」を開発しました．変幻灯では，明るさの動き情報を対象に投影することにより，投影対象の色やきめの見かけを保持したまま，その対象に錯覚的な動き印象を与えることができます．投影された動き情報と，対象が本来持つ色やきめの情報が脳内で統合され，結果的に対象自体が動いているような錯覚が生じます．ここでは，変幻灯を支える視覚運動情報処理や変幻灯の代表的なシステムを紹介します．

光投影技術「変幻灯」

絵画，写真，彫刻といった静止メディアは，事物の空間的な情報（例えば，色や形）を表現するのに有効な手段ですが，時間的な情報（例えば，動きやその速さ）を表現するにはあまり有効ではありません．私たちの祖先は，このような静止メディア上での表現の限界を克服しようとして，絵画的運動表現を開発してきました．例えば，絵画に描かれた対象に動きをつけるために，動きを表現したい対象の背後に線分群を足す手法が開発されました[(1)]．それでもなお，実際の動きを見た場合と比べると，静止メディア上に表現された動きはそれほど鮮やかなものではありません．

NTTコミュニケーション科学基礎研究所では，「静止メディアに実際の動きの情報を足す」という一見不可能な問題を解決することで，この静止メディアの持つ限界を克服できるのではないかと考えました．単純に静止メディア上に動画を映写するのではなく，静止メディアに描かれた対象がまざまざと動いているように見せる方法はないものかと考えました．

この考えのもと，私たちは「変幻灯」という名の新しい光投影技術を提案しました[(2),(3)]．端的に述べると，変幻灯は色付きの止まった対象に明るさの動きの情報，つまり，輝度運動信号を重ねて投影するものであり，これによって静止している対象に錯覚的な動きを与える技術です．

これまでのプロジェクションマッピングとの違い

変幻灯は，動きを与えるために主にビデオプロジェクタを用います．この技術は，実際に存在する事物の見かけを光投影によって変更するという観点から，空間拡張現実（spatial augmented reality）の1つとして考えることができます[(4),(5)]．空間拡張現実とは，眼鏡型ディスプレイなどのいわゆるウェアラブルディスプレイを装着せずに，プロジェクタを用いて実対象の見かけを仮想対象のそれと置き換える手法です．過去の研究は，空間拡張現実のさまざまな手法を提案しています．シェーダーランプスと呼ばれる手法では，仮想物体の持つ反射特性を実物体の表面上に再現するために，プロジェクタの出力を操作します[(6)]．シェーダーランプスは主に対象となる実物体の表面がきめを持たない状況で用いる技術でしたが，最近は対象がきめを持っていても，それを打ち消すことで，所望の見え方を再現できるプロジェクションマッピング手法が提案されています[(7),(8)]．

一方で変幻灯は，対象の色を打ち消したり，反射特性を変更したりして，動いている仮想物体を表現するものではありません．この点が既存のプロジェクションマッピングと大きく違う部分です．既存技術の多くが色・明るさ・きめなど投影対象の静止画像情報の見かけを変更することを意図していますが，変幻灯は対象そのものが持つ色・明るさ・きめを保持しつつ，それが動いているように錯覚させることのできる技術です．

変幻灯を支える視覚運動情報処理

変幻灯では，既存のプロジェクションマッピングに散見されるような，画像情報の位置変化を表示することで対象を動いているように見せるわけではありません．人間の視覚運動検出器を駆動させるような輝度運動情報を動かしたい対象へ重ねて投影することで，対象に錯覚的な動き印象を与えます．視覚科

学では古くから，位置変化を生じさせずに連続した運動知覚を生じさせる現象，例えばReversed phi[9]やMotion without movement[10]が知られています．つまり，対象の位置に変化がなくとも，適切な運動信号を与えれば人間は動きを見ることができるのです．

一方で，投影された輝度運動信号を処理するメカニズムを想定するだけでは変幻灯で静止対象が動いて見えることを説明することはできません．変幻灯では静止した対象に対して輝度運動信号を投影するのですが，静止した画像信号の処理には視覚運動検出器とは別の処理を想定する必要があります．別の処理とは，ここでは色や形態の視覚処理のことを意味します．

私たちは，色・形態処理が動きの処理によって影響を受けることで変幻灯での見え方が成立していると考えています．視覚科学では運動捕捉と呼ばれる現象が調べられてきました．運動捕捉とは，周辺の（もしくは重なっている）運動情報に影響を受けて，止まっているはずの画像情報が運動情報の方向へ動いて見える錯覚現象です[11]．つまり，脳は色・形態情報と動きの情報とを統合する段階で，これらの情報どうしに不整合がある場合でも，その不整合を解決する方向へ色や形態情報の見え方を補正していると考えられています．このような，運動－形態情報の統合処理[12]や運動－色情報の統合処理[13]がかかわることにより，投影された輝度運動情報が，実物体における静止画像情報を錯覚的に動かして見せているものと思われます（**図1**）．

変幻灯の代表的なシステム

変幻灯では，静止対象に輝度運動信号を投影するのですが，輝度運動の生成の仕方および投影の仕方にはさまざまな方法があります．ここでは代表的な手法例を紹介します．

■カメラープロジェクタ系を用いる方法

カメラープロジェクタ系ではまず，投影対象をプロジェクタ側から撮影し，そのグレースケール画像（つまり，色差を持たない濃淡画像）を取得します（**図2**）．次にグレースケール画像をピクセ

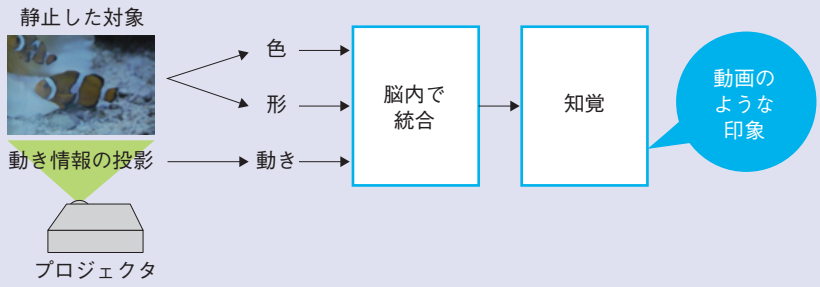


図1　変幻灯にかかわる視覚情報処理

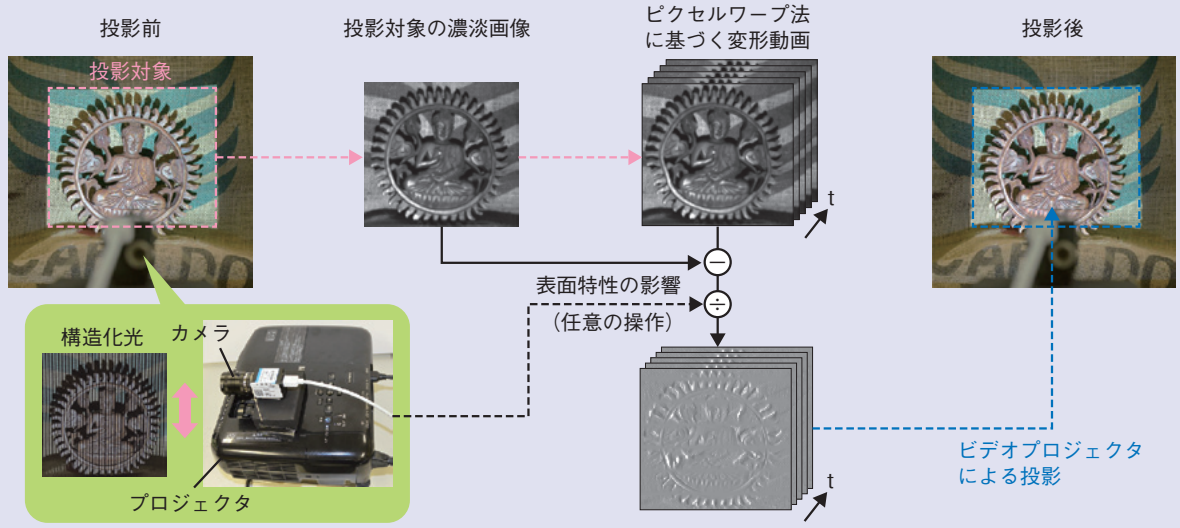


図2　カメラプロジェクションシステムによる変幻灯

ルワープ法を用いて連続的に変形させ，変形画像列を得ます．その後，変形画像列と元のグレースケール画像との差分画像列を計算します．差分画像列は，変形に関する輝度運動情報で構成されます．この差分画像列を投影対象へ重ねて表示することで，運動捕捉現象を通じて止まっているはずの静止対象が動いているように知覚されるのです．

■既存の動画を用いる方法

既存の動画を用いる方法では，複数の画像フレームから構成されるカラー動画を用います（**図3**）．まず，投影対象を設定します．カラー動画の中から，画像フレームを抽出し，例えば，それを紙に印刷します．次に，輝度運動情報を抽出します．そのためにまず，カラー動画をグレースケール動画へ変換します．そして，印刷した画像フレームをグレースケール画像フレームへ変換し，グレースケール動画との差分をとります．差分をとったグレースケール動画を投影対象に表示することで，印刷された画像フレームがあたかも元の動画のような印象を持っているかのように見せることができます．

■透過型ディスプレイを用いる方法

透過型ディスプレイを用いる方法は上述の2方法と基本的に同じなのですが，輝度運動信号を表示する際には，プロジェクタではなく，透過型ディスプレイを用います（**図4**）．透過型ディスプレイからは背後に存在する対象を見ることができるのですが，その対象と透過型ディスプレイ上の輝度運動信号とがきれいに重なって見える地点で対象を観察します．そうすると，対象が変形しているように見えます．プロジェクタを用いた場合，3次元物体の輪郭を超えて運動信号を表示することはできません（輪郭を超えると，輝度運動信号を物体の背景へ投影することになります）．透過型ディスプレイを用いることで，3次元対象の輪郭を超えた部分にも運動信号を表示することができますので，3次元対象の輪郭が動いたり変形したりして見せることもできます．

今後の展開

変幻灯は，止まっているものが動いて見えるというこれまでになかった新奇な視覚体験をユーザに与えることができます．私たちは，変幻灯がもたらすこの新奇な視覚体験をさまざまな場面へと応用可能だと考えています．また，変幻灯の効果をユーザに体験していただいた結果，多くのユーザから，まるで動画が表示されているように見えるという感想をいただきました．この感想は，変幻灯の効果の強さを物語っているといえるでしょう．

一方で，動画に見える，ということは，単純に動画を表示する場合と，変幻灯で対象を錯覚的に動かす場合とで，その体験が質的に変わらないということを示しています．したがって，変幻灯がも

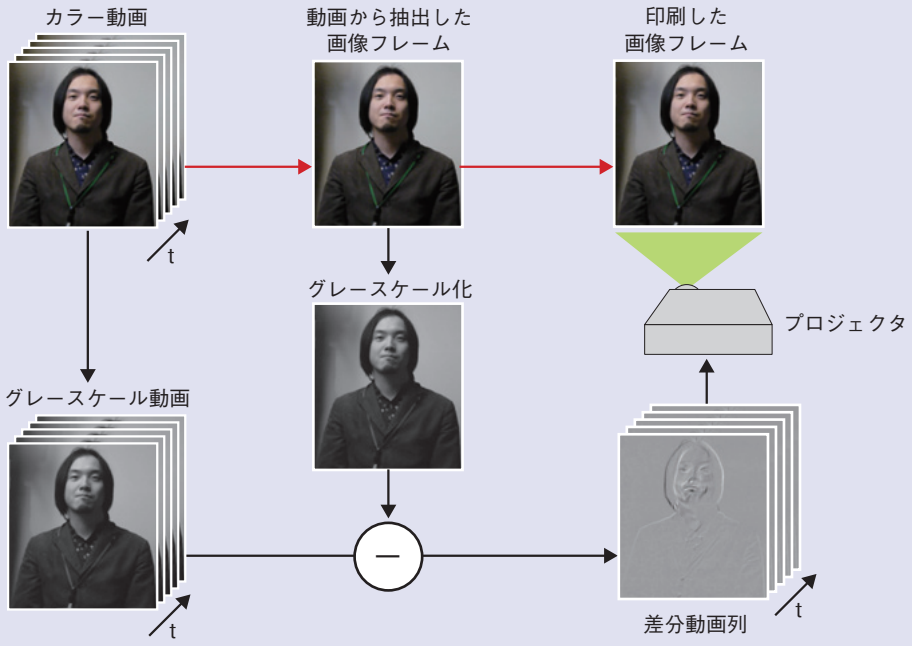


図3　既存の動画に基づく変幻灯

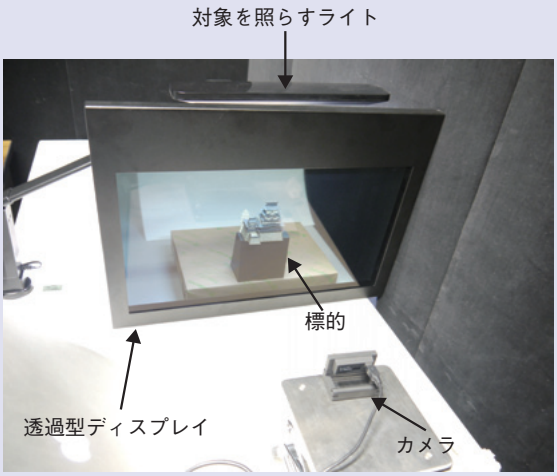


図 4　透過型ディスプレイを用いて変幻灯効果を対象に与える装置

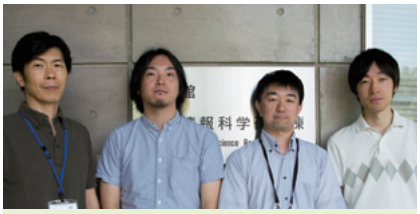
たらす新奇な体験をユーザに分かりやすく伝えるためには，「動いて見えているけど，実は止まっている」という情報をユーザに与える工夫が必要です．3次元物体へ投影するなど，ディスプレイではできない情報表現を目指していきたいと考えています．

また，さまざまな日常場面で変幻灯を応用できると考えています．その1つの例はインテリア照明としての利用です．液体や気体の質感を床や壁，天井に与えることができます．また，広告やサイネージでの新しい表現手法としても活用できると思います．さらには，芸術家とのコラボレーションにより，まだ明らかになっていない変幻灯の可能性も提案できるかもしれません．静止メディア上のアナログ表現とデジタル表現を融合した，次世代の空間拡張現実技術としての変幻灯，その開発と改善に今後も取り組んでいきます．

変幻灯に関する最新情報は以下のURLで見ることができます．
http://www.brl.ntt.co.jp/cs/human/hengentou/

■参考文献

(1) J. E. Cutting：“Representing motion in a static image: constraints and parallels in art, science, and popular culture,” Perception, Vol.31, No.10, pp.1165-1193, 2002.
(2) 河邊・澤山・丸谷・西田：“静止した2次元実対象を運動情報によって錯覚的に変形させる光投影手法,” 2014年次映像情報メディア学会, 5-1, 2014.
(3) T. Kawabe, M. Sawayama, and S. Nishida：“Deformation Lamps: A Projection Technique to Make a Static Object Dynamic,” Proc. of ACM SIGGRAPH 2015 Emerging Technologies, No.8, Los Angels, U.S.A., August 2015.
(4) O. Bimber and R. Raskar：“Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds,” A K Peters/CRC Press, 2005.
(5) R. Raskar, G. Welch, and H. Fuchs：“Spatial augmented reality,” Proc. of IWAR'98, pp.1-7, Sun Francisco, U.S.A., Nov. 1998.
(6) R. Raskar, G. Welch, K.-L. Low, and D. Bandyopadhyay：“Shader Lamps: Animating Real Objects With Image-based Illumination,” Proc. of the 12th Eurographics Workshop on Rendering Techniques, pp.89-102, London, U.K., June 2001.
(7) O. Bimber, F. Coriand, A. Kleppe, E. Bruns, S. Zollman, and T. Langlotz：“Superimposing pictorial artwork with projected imagery,” IEEE MultiMedia, Vol.12, No.1, pp.16-26, 2005.
(8) T. Amano：“Projection Based Real-time Material Appearance Manipulation,” Proc. of CVPR2013, pp.918-923, Portland, U.S.A., June 2013.
(9) S. M. Anstis and B. J. Rogers：“Illusory reversals of visual depth and movement during changes in contrast,” Vision Research, Vol.15, pp.957-961, August-Sept. 1975.
(10) W. Freeman, E. H. Adelson, and D. J. Heeger：“Motion without movement,” Proc. of ACM SIGGRAPH '91, pp.27-30, Las Vegas, U.S.A., July-August, 1991.
(11) V. S. Ramachandran：“Interaction between colour and motion in human motion,” Nature, Vol.328, No.6131, pp.645-647, 1987.
(12) S. Nishida：“Motion-Based Analysis of Spatial Patterns by the Human Visual System,” Current Biology, Vol.14, pp.830-839, 2004.
(13) S. Nishida, J. Watanabe, I. Kuriki, and T. Tokimoto：“Human visual system integrates color signals along a motion trajectory,” Current Biology, Vol.17, No.4, pp.366-372, 2007.



（左から）西田　眞也/ 澤山　正貴/
河邉　隆寛/ 吹上　大樹

変幻灯自体はまだ開発されて数年の若い技術ですが，長年の視覚科学の蓄積に基づいています．これからも視覚科学の基礎研究に邁進しつつ，それを土台にした情報提示技術を提案していきたいと思います．

◆問い合わせ先
NTTコミュニケーション科学基礎研究所
人間情報研究部
感覚表現研究グループ
TEL　046-240-3592
FAX　046-240-4716
E-mail　kawabe.takahiro@lab.ntt.co.jp