特集記事

バイオミメティクス画像検索エンジン*
―発想支援型画像検索の応用―

長谷山 美紀**

Biomimetics Image Retrieval Engine
― Application of Associative Image Search―

Miki HASEYAMA

1．はじめに

バイオミメティクスは，生物の構造や機能，製造プロセスからものづくりの着想を得る新しい技術体系である．この技術体系は，生物学と工学などの異なる分野が連携することで，持続可能な社会を支える革新的技術を創出する可能性があり，産業界からも期待されている[1),2)]．バイオミメティクスの発展のカギとなる異分野連携には，異分野の研究者が生物の知識を習得する必要がある．しかしながら，その習得は生物の多様性故に容易ではない．現在までに，バイオミメティクスの優れた製品や技術が輩出されたが，ものづくりに新しい潮流を生み出すためには，ものづくりに役立つ生物の情報を入手する仕組みが必要である．

ところで，近年，走査電子顕微鏡（SEM）が広く普及したことで，昆虫や魚類，鳥類などの表面に形成されたサブセルラー・サイズ構造（細胞内部や表面に形成される数百 nm～数 μm の構造）の観察が進められている[3),4)]．例えば，膨大な生物の標本と情報が蓄積されている博物館が，SEM により生物の表面構造を観察している[5)]．観察された顕微鏡像を通して，生物が持つ固有の機能が発現する特徴的な構造を探し出すことができれば，類似のナノ・マイクロ構造を人工的に実現し，機能発現のメカニズムを物理化学的に解明することで，新材料や革新的デバイスの開発に大きな前進が期待できる．

このような背景の下，著者は，ものづくりに有益な生物情報を探し出すため画像検索（以降，バイオミメティクス画像検索）の実現に着手した．工学系研究者が，蓄積された大量の生物データの中から，ものづくりに有益な情報を探し出すためには，既存の検索技術では限界がある．なぜならば，現状の検索は，ユーザがクエリ（質問）と呼ばれるキーワードや質問画像に合致した情報を簡便に探し出すことを目的として実現された技術であり，世の中に存在しない新しい発見のための情報を探し出すことには適していないからである．バイオミメティクス画像検索は，発想支援型画像検索[6),7),8),9)]に基づき実現されており，生物学の専門用語に精通していないユーザが適切なキーワードを想定できなくても，画像データベースの可視化により，希望の画像を獲得できる[10),11)]．望む情報を入手するために広く検索エンジンが使われているが，ものづくりのために生物画像を検索するエンジンの実現は，世界初の試みと言える．

本稿では，バイオミメティクス画像検索エンジンの実現の詳細について説明する．その構成は以下のとおりである．まず，2 章で，バイオミメティクス画像検索エンジンの基盤技術である発想支援型画像検索について説明する．次に，3 章で，この発想支援型画像検索に基づき実現されたバイオミメティクス画像検索エンジンを紹介し，具体的機能について説明する．また，実際の生物画像データベースを用いて得られた検索結果を示し，検索エンジンの有効性について議論する．最後に，4 章で本文のまとめを示す．

2．発想支援型画像検索

2.1 発想支援型検索の必要性

大量に蓄積されたデジタルデータから効率的に望む情報を検索するために，様々な手法が提案されている．特に，画像や映像はその娯楽性から実サービス展開も早く，一般に広く利用されている[12)]．現状の検索サービスは，ユーザがクエリ（質問）と呼ばれるキーワードや質問画像を検索の手がかりとして入力することで，検索結果を得る．このような方法は，大量のデータの中からクエリに合致した情報を簡便に知ることができ，優れた方法と言える．

一方で，ユーザが適切なクエリを想定できない場合，このような検索サービスを用いても望む情報は得られない．適切なキーワードを思いつくことができない場合に行う繰り返しの検索作業は，正確さが要求されない日常生活では大きな問題にはならない．しかしながら，研究開発の現場で行われる検索では，それが大きな障壁とな

* 原稿受付　2016 年 10 月 15 日
** 北海道大学大学院 情報科学研究科
（〒 060-0814　札幌市北区北 14 条西 9 丁目，
E-mail：miki@ist.hokudai.ac.jp）

る．蓄積されたデータの中に新しい技術を生み出す「情報」が含まれていても，現状の検索サービスでは発見することが困難である[10]．なぜなら，現状の検索は，データの中からクエリに合致する「情報」を簡便に探し出すための技術であり，世の中に存在しない新しい技術を生み出すための情報を探し出すことは大変に難しいからである．

あらゆる場所でデジタルデータが蓄積される現代において，インターネットだけでなく多様な検索ニーズが生まれ，このような問題が顕在化したと考える．IT 関連の大手市場調査会社インターナショナル・データ・コーポレーション（IDC）の調査報告にも，「必要な情報を見つけ出すための新しい検索・発見のツールが必要である」と述べられている[13),14)]．新しい検索ツールの必要性は，異分野連携において顕著となる．例えば，ある分野の研究者が，自身の研究分野とは異なる分野で観察された画像を検索する場合，専門用語が異なり，適切なキーワードを想定できず望む画像を得ることは難しい現状が挙げられる．

2.2 発想支援型画像検索の具体的なシステム

筆者は 2.1 で述べた問題の解決に早期に取り組み，様々な研究を行ってきた[10),11),15),16)]．その代表的な手法として発想支援型画像検索が挙げられる．発想支援型画像検索は，画像の類似性に基づき，自動で類似画像を近傍に配置し，大量の画像を一度に見られるように可視化することができる．故に，ユーザが適切にキーワードを選ぶ事ができない場合でも，望む画像を効率的に見つけ出すための発想の支援が可能となる[11)]．

発想支援型画像検索手法に基づき実現された検索エンジン Image Cruiser[15),17)]の可視化の様子を Fig. 1 に示す．図では，3 万 6000 枚の画像データベースを用いており，中央は 2 次元配置の様子を示し，右手前には代表画像のみを 3 次元に配置した様子を示している．類似画像を近傍に配置することで，画像データベースの全体を俯瞰でき，適切なキーワードを想定できない場合でも，望む画像が含まれる画像群を見つけることで，その入手が可能となる[10)]．

発想支援型検索は，その適用対象を変えることで，様々なシステムが実装されている．これらのシステムでは，情報可視化のみならず，画像・映像・音楽等，複数のメディアを協調的に利用するマルチモーダル信号処理を導入することで，高度な検索や推薦を行うことが可能となる[16),18)]．また，マルチメディアコンテンツを閲覧するユーザの視聴行動データを解析することで，個人の嗜好を考慮した検索・推薦を可能とするシステム[19)]も実現されている．

発想支援型検索の詳細及び本理論に基づく様々な検索エンジンについては，文献 10),11) に詳しく示されている．

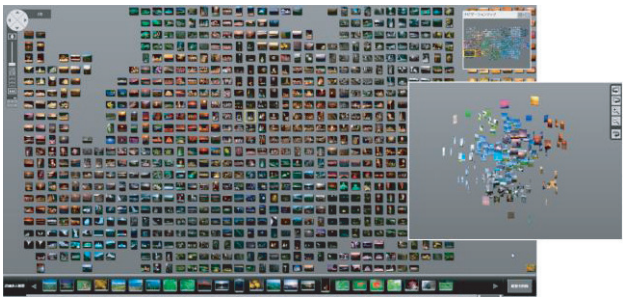


Fig. 1　発想支援型検索理論に基づいて実用化された画像検索エンジン ImageCruiser（文献[6]より転載）．

3. バイオミメティクス画像検索エンジン

3.1 バイオミメティクス画像検索エンジンの必要性

バイオミメティクスは，生物学や医学，材料科学など多様な分野が連携することでイノベーションを創出する技術体系であることを先に述べた．その成功のカギとなる異分野連携のために，知識共有が必須であるが容易ではない．知識共有の障壁の一つが，用語の差異にある．以下に「Adhesion」という用語が，異なる分野で使用された例を示す．

生物学

After applying the adhesive to the substrate, the samples were allowed to dry for 24 hours under a bio-safety cabinet[20)].

医学

Adhesion formation is the most common complication following peritoneal surgery and the leading cause of small bowel obstruction, acquired infertility and inadvertent organ injury at reoperation[21)].

ロボット工学

The result is Stickybot, a robot that climbs glass and other smooth surfaces using directional adhesive pads on its toes[22)].

上の 3 つの異なる学術分野における「Adhesion」の用例は，上位の概念では同一でありながら，細かな意味に差異が存在する．このような差異は，異なる分野の相互理解の障壁となり，知識の連携が困難となる．障壁の低減のためには，各分野で用いられる用語の対応を記した辞書が有用であり，バイオミメティクスにおける異分野連携にも辞書の構築が行われた[23)]．

一方で，単語の対応付けには限界があり，画像データを活用することで異分野連携を目指したものが，『バイオミメティクス画像検索エンジン』の実現の取組みである．実現された画像検索エンジンを用いれば，共通の構造を有する画像を見つけ出すことができ，辞書を準備せ

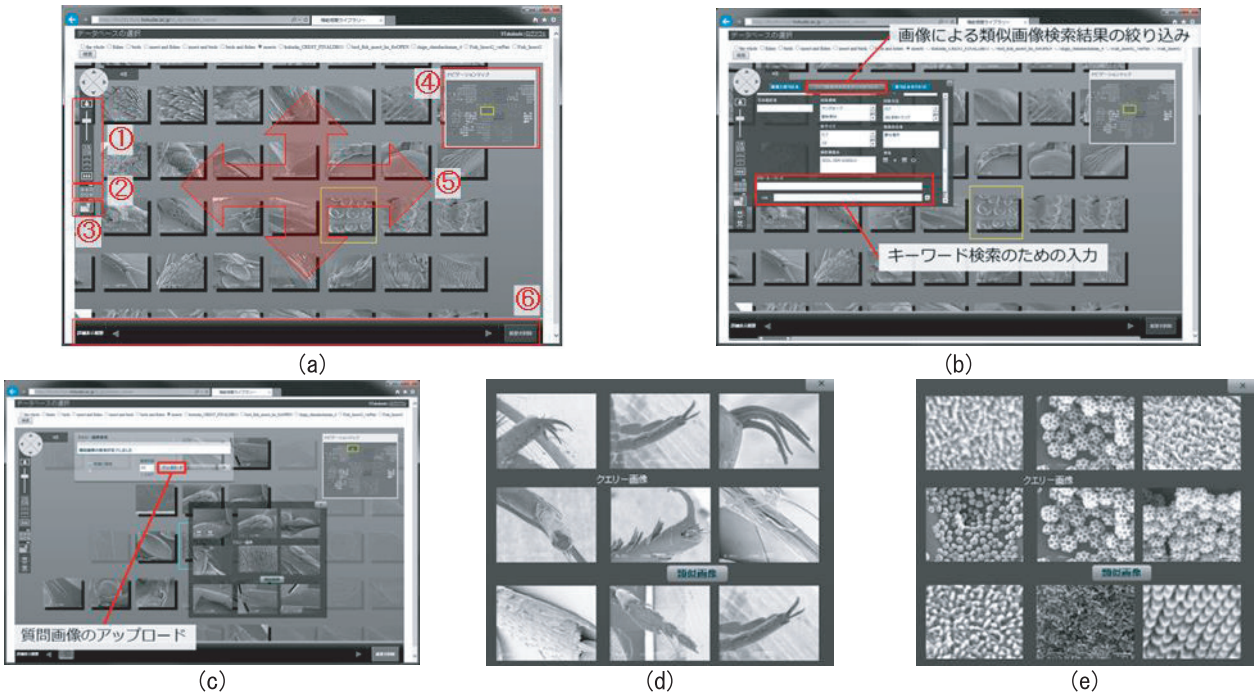


Fig. 2　バイオミメティクス画像検索エンジンのインタフェースと各機能：(a) 検索インタフェース，(b) キーワード検索機能，(c) 類似画像検索機能，(d) 形状に注目した画像検索結果，(e) 模様に注目した画像検索結果（文献 26）より転載）．

ずに両者の関連性を知ることができる．これにより，用語の差異による知識共有の障壁が低減され，異分野の研究開発者がものづくりに有効な生物情報を入手できる．

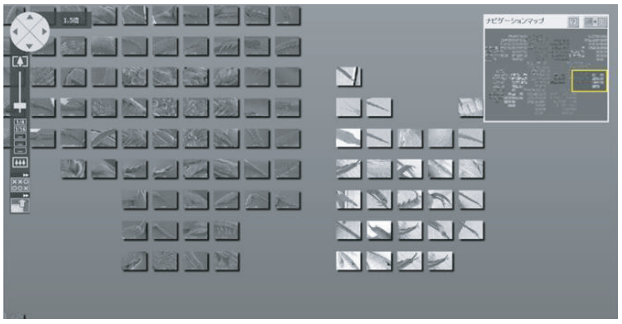
3.2 バイオミメティクス画像検索エンジンの機能

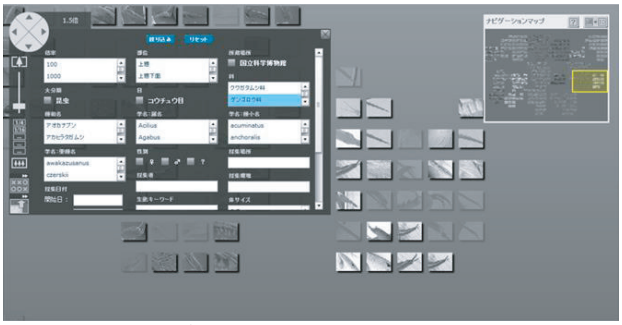
発想支援型検索に基づき，バイオミメティクス画像検索エンジンが実現されている[24),25),26)]．この検索エンジンは，生物学研究者により蓄積された大量の生物画像を活用することで，従来のキーワード検索の限界を超え，ものづくりの発想を支援する新しい検索を可能としている．現在のバイオミメティクス画像検索エンジンを利用可能な検索基盤には，昆虫や魚類，鳥類の表面を SEM で観察した 5 万 3521 枚の画像が登録されている（国立科学博物館 野村周平研究主幹・篠原現人研究主幹・松浦啓一名誉研究員，山階鳥類研究所 山崎剛史研究員提供）．登録された画像の中から，コウチュウ目の SEM 画像 1167 枚を用いた様子を Fig. 2 (a) に示す．Fig. 2 (a) より，画像データベース全体を俯瞰する様子が確認できる．また，本検索エンジンには，下の①～⑥の機能が実装されている．番号は，Fig. 2 (a) 中の番号に対応している．

① 画面の中の画像の拡縮
② キーワード検索
③ 画像による類似画像検索
④ 画像データベース全体における画面の位置の確認
⑤ 画像データベース全体の表示画面をドラッグ操作で移動
⑥ 画像の閲覧履歴を確認

以上に示す機能の中で，②は，従来の検索サービスと同様のキーワード検索機能である．②をクリックすると画面 (Fig. 2 (b)) が現れ，キーワードを入力することで，それに合致する生物の画像を検索できる．また，SEM 画像をクリックすると，撮像対象の生物の情報も閲覧できる．本検索エンジンの機能の中で，特に重要な「画像による類似画像検索機能」について説明する．Fig. 2 (a) の③をクリックすると，Fig. 2 (c) に示す質問画像のアップロード画面が現れ，自身の PC 上の画像を選択すると，類似画像検索結果が得られる．本検索エンジンでは，検索の目的に応じて選択可能な 2 種類の画像特徴量が準備されている．各々の特徴量を用いた検索結果の例を Fig. 2 (d) および (e) に示す．9 枚の画像の中央に表示されている画像がアップロードされた質問画像であり，その周囲に示されている 8 枚が類似画像検索結果である．(d) と (e) を比較すると，(d) の特徴量は形状に注目した類似画像検索に適し，(e) の特徴量は模様に注目した検索に適していることが分かる．2 種類の特徴量を準備することで，注目する表面構造に応じて有効な特徴量を選択することができる．この類似画像検索機能を材料学者が利用すれば，自身が開発する材料の表面構造と類似の構造を持つ生物を効率的に探し出し，得られた生物の生態環境や固有の性質を通して，材料開発に新たな発想が期待できる．

バイオミメティクス画像検索エンジンは以下で研究者向けに公開されている．
http://bmireng.ist.hokudai.ac.jp/


(a) 右下のクラスタに注目した結果


(b)「ゲンゴロウ科」で絞り込みを行った結果


(c) 種和名が「コケシゲンゴロウ」の画像閲覧結果


(d) 種和名が「ヒメコガシラミズムシ」の画像閲覧結果


(e) 種和名が「エゾコオナガミズスマシ」の画像閲覧結果


(f) 種和名が「ガムシ」の画像閲覧結果

Fig. 3　バイオミメティクス画像検索エンジンを利用して生物の検索を行った例.

3.3 バイオミメティクス画像検索エンジンによる新たな発見の例

本章では，バイオミメティクス画像検索エンジンの有効性を確認する．生物学者と材料学者がバイオミメティクス画像検索エンジンを実際に利用し，新たに得られた発見の例を以下に示す．

A．類似した形状の昆虫の発見例

バイオミメティクス画像検索エンジンを用いて，昆虫のコウチュウ目から 3271 枚の SEM 画像を用いて検索を行った結果を Fig. 3 に示す．Fig. 3 (b) には，Fig. 3 (a) に示す右下のクラスタに対して，「ゲンゴロウ科」で絞り込みを行った結果を示している．Fig. 3 (c) に示されるように，「ゲンゴロウ科」で絞り込まれた画像の中には，「コケシゲンゴロウ」等の種が含まれているが，Fig. 3 (d)～(f) に示すように，その画像の近傍には異なる科に属する種「ヒメコガシラミズムシ」(コガシラミズムシ科)，「エゾコオナガミズスマシ」(ミズスマシ科)，「ガムシ」(ガムシ科) が存在することが分かる．これらは，互いに異なる科に存在するものの，同一の撮像箇所 (付節) において類似した形状を持つことから，その画像が近傍に配置されている．この結果より，バイオミメティクス画像検索エンジンの利用により，科や種が異なる生物に存在する形状の類似性を発見することが可能であることが分かる．

B．生物と材料の間で類似性が発見された例

バイオミメティクス画像検索エンジンを用いて，魚類 1,713 枚と昆虫 609 枚の SEM 画像に，金属表面を観察した SEM 画像 1 枚を加えた画像データベースを検索した結果を Fig. 4 に示す．Fig. 4 (a) は，金属表面の SEM 画像である．(a) の類似画像が，その近傍に示されている．Fig. 4 (b) は，イシダイの体側中央付近（観察倍率：150 倍），(c) はメガネハギの体側後方 (尾柄部より少し前，150 倍)，(d) はカワヨウジの右体側中央付近 (700 倍) の体表の SEM 画像である．また，(e) は，チャイロカナブンの左後翅背面先端部 (10,000 倍) の SEM 画像である．Fig. 4 (b)～(e) は，その滑らかな表面と突起模様が (a) と類似していることから近傍に配置された．この検索結果より，バイオミメティクス画像検索エンジンの利用により，異なる生物や材料であっても，

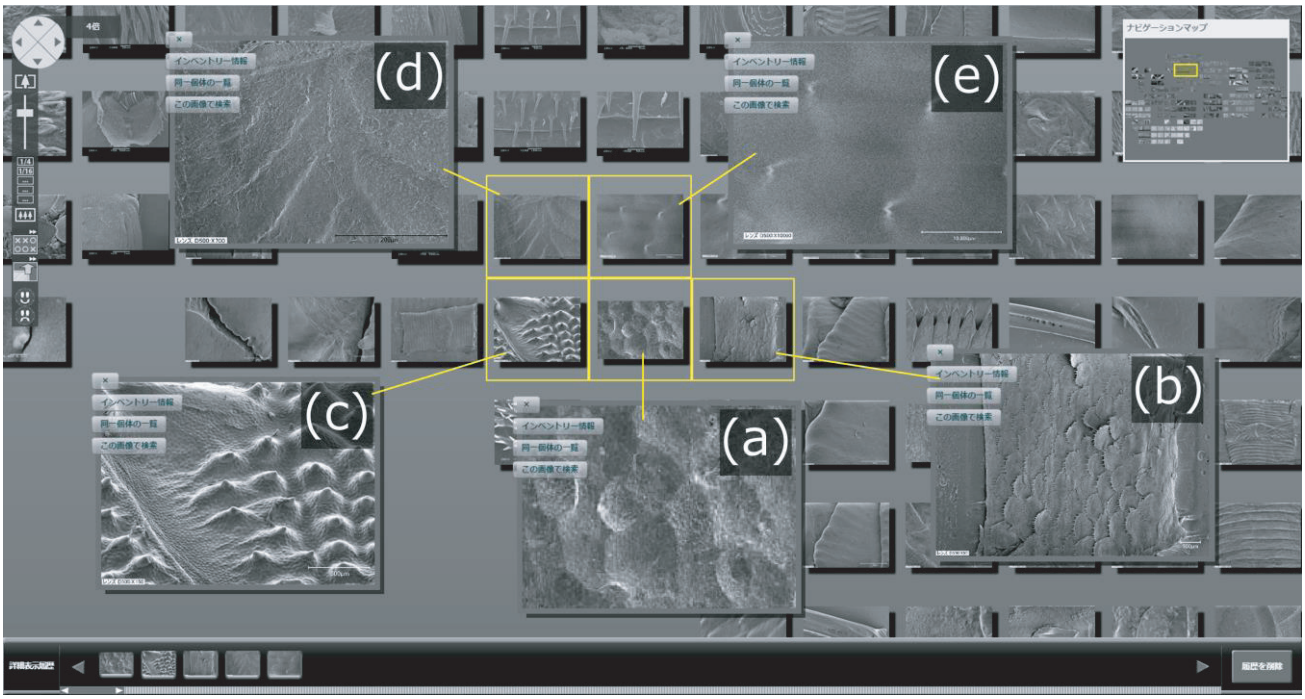


Fig. 4　バイオミメティクス画像検索エンジンによる生物と金属加工面の間に存在する類似性の発見の例.

表面構造が類似する SEM 画像を見つけ出すことが可能であり，その類似性を観察することで，表面形状から生まれる機能を発見する可能性がある．また，バイオミメティクス画像検索エンジンでは，SEM 画像の撮像生物について，そのサイズや撮像部位などのインベントリ情報の他に，生態情報が登録されている．生態情報には，例えば，砂泥底に生息することや，高速遊泳，伸びる皮膚，吸着などの特徴が記されており，表面形状が類似する生物の生態情報からも，ものづくりの発想が期待できる．

4．むすび

本稿では，バイオミメティクス画像検索エンジンの実現の取組みについて紹介した．この検索エンジンは，ものづくりに役立つ生物情報を検索するために，発想支援型検索に基づき実現されている．発想支援型画像検索は，自動で類似画像を近傍に配置し，大量の画像を一度に見られるように可視化する手法であり，ユーザが適切にキーワードを選ぶ事ができない異分野連携にその効果を発揮する．

本稿の最後では，実際に実現されたバイオミメティクス画像検索エンジンを用いて，生物の SEM 画像データベースの検索結果を示し，その有効性を確認した．

バイオミメティクス画像検索エンジンの基になる発想支援型検索は，画像だけでなく映像や音，動きなど多様なデータに適用可能である．本稿で紹介したバイオミメティクス画像検索エンジンも，SEM 画像だけでなく多様なデータに適用可能となるよう拡張する予定である．

謝　辞

本研究の一部は，JSPS 科研費 JP24120002 新学術領域研究“生物多様性を規範とする革新的材料技術”の助成を受けて行われた．

参 考 文 献

1）J. F. V. Vincent, O. A. Bogatyreva, N. R. Bogatyrev, A. Bowyer and A. K. Pahl,“Biomimetics: Its practice and theory,” Journal of The Royal Society Interface, vol.3, no.9, pp.471–482, 2006.
2）B. Bhushan,“Biomimetics: lessons from nature-an overview,” The Royal Society, vol.367, no.1893, pp.1445–1486, 2009.
3）M. Shimomura,“The new trends in next generation biomimetics material technology: Learning from biodiversity,” Quarterly review, no.37, pp.53–75, 2010.
4）M. Shimomura, Engineering biomimetics: Integration of biology and nanotechnology, design for innovative value towards a sustainable society, pp.905–907, 2012.
5）長谷山美紀，野村周平，「バイオミメティクスのデータベース化」，『生物模倣技術と新材料・新製品開発への応用』，第 5 節 p.683–p.692，技術情報協会，2014 年 7 月
6）長谷山美紀，“[特別講演]ビッグデータからの価値創出 －「気づき」を生み出す画像検索－，“信学技報，vol.113, no.218，pp.57–61，2013.
7）長谷山美紀，“【特別講演】メディア理解のための発想支援型検索の試み，”信学技報，vol.PRMU2013–180，pp.73–77，2014
8）M. Haseyama:“【keynote】Realization of associative image search -Development of image retrieval platform for enhancing serendipity-,” 2016 IEEE 46th International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp.56–59, 2016.
9）長谷山美紀，“発想支援型検索と異分野連携がもたらす可能

性,”化学経済，no.9，pp.42–46，2016.
10）M. Haseyama, T. Ogawa and N. Yagi,“A review of video retrieval based on image and video semantic understanding,” ITE Transactions on Media Technology and Applications, vol.1, no.1, pp.2–9, 2013.
11）長谷山美紀，“画像・映像意味理解の現状と検索インタフェース，”電子情報通信学会誌，vol.93，no.9，pp.764–769，2010.
12）平成 21 年版情報通信白書　第 4 章　第 1 節　1(4) インターネットの利用目的 http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h21/index.html
『平成 19 年末から最も利用が伸びたのはデジタルコンテンツ（音楽・音声，映像，ゲームソフト等）の入手・聴取であり，前年から 3.1 ポイント増となっている』ことが報告された
13）J. F. Gantz, C. Chute, A. Manfrediz, S. Minton, D. Reinsel, W. Schlichting, et al. :“The diverse and exploding digital universe,”IDC White Paper, IDC, 2008.
14）J. Gantz and D. Reinsel,“The digital universe decade, Are you ready?,”IDC iView, 2010.
15）K. Kobayashi, T. Ogawa and M. Haseyama,“Novel evaluation criterion for visualization of image search results based on feature integration theory,”ITE Transactions on Media Technology and Applications, vol.1, no.4, pp.333–342, 2013.
16）M. Haseyama and T. Ogawa,“Trial realization of human-centered multimedia navigation for video retrieval,” International Journal of Human-Computer Interaction, vol.29, no.2, pp.96–109, 2013.
17）M. Haseyama, T. Murata and H. Ukawa,“A new image retrieval interface and its practical use in“View Search Hokkaido”,”The 13th IEEE International Symposium on Consumer Electronics, pp.851–852, 2009.
18）Y. Hatakeyama, T. Ogawa, S. Asamizu and M. Haseyama,“A novel video retrieval method based on Web community extraction using features of video materials,”IEICE Trans. Fundamentals, vol.E92-A, no.8, pp.1961–1969, 2009.
19）山之内豊，小川貴弘，長谷山美紀，“映像検索結果の定量評価手法の応用に関する試み(1) ～札幌市における実証実験を通した映像検索システムの評価～，”映像情報メディア学会技術報告，vol.37，no.8，pp.159–164，2013.
20）M. Zhang, S. C. Lenaghan, L. Xia, L. Dong, W. He, W. R. Henson and X. Fan,“Nanofibers and nanoparticles from the insect-capturing adhesive of the Sundew (Drosera) for cell attachment.”Journal of nanobiotechnology, vol.8, no.20, doi: 10.1186/1477–3155–8–20, 2010.
21）R. P. G. ten Broek, N. Kok- Krant, E. A. Bakkum, R. P. Bleichrodt and H. Van Goor,“Different surgical techniques to reduce post-operative adhesion formation: A systematic review and meta-analysis,”Human Reproduction Update vol.19, no.1, pp.12–25. doi:10.1093/humupd/dms032, 2012.
22）S. Kim, S. Trujillo, B. Heyneman, D.Santos and M. R. Cutkosky,“Smooth vertical surface climbing with directional adhesion,” IEEE Transactions on Robotics, vol.24, no.1, pp.65–74, 2008.
23）K. Kozaki and R. Mizoguchi,“A keyword exploration for retrieval from biomimetics databases,”Lecture Notes in Computer Science, Semantic Technology, 361–377, pp.2015.
24）長谷山美紀，“【招待講演】バイオミメティクスデータ検索基盤の最新情報の紹介，”日本顕微鏡学会第 70 回記念学術講演会　OT5「IIRS 共催シンポジウム」抄録集，p.8，2014.
25）長谷山美紀：“ものづくりの発想を支援する―バイオミメティクス・画像検索基盤―，”現代化学，no.529，pp.31–34 (2015)
26）長谷山美紀，“材料開発のための新しい情報科学　―バイオミメティクス画像検索基盤の実装，”第 65 回高分子討論会，vol.65，no.2，1U12，2016.