

## 消化器外科における低侵襲手術の歴史と未来： 日本医科大学消化器外科の現状

川野 陽一<sup>1</sup> 吉田 寛<sup>2</sup>

<sup>1</sup>日本医科大学千葉北総病院外科・消化器外科

<sup>2</sup>日本医科大学付属病院消化器外科

### History and Future of Minimally Invasive Surgery in Gastrointestinal Surgery

Youichi Kawano<sup>1</sup> and Hiroshi Yoshida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Gastrointestinal and Hepato-Biliary-Pancreatic Surgery, Nippon Medical School Chiba-Hokusoh Hospital

<sup>2</sup>Department of Gastrointestinal and Hepato-Biliary-Pancreatic Surgery, Nippon Medical School Hospital

**Key words:** minimally invasive surgery, gastrointestinal surgery, history and future

#### I. 外科の歴史

中世のヨーロッパでは、外科医を理髪師が兼業していたが、16世紀になりアンブロワーズ・パレが結紮による止血法を、19世紀になりジョセフ・リスターがフェノールによる消毒法を、ウィリアム・モートンがエーテル吸入麻酔法を発明したことにより、“近代外科の3本柱”が確立され、外科学が急速に発展することになった。

#### II. 消化器外科の歴史 (Table 1)

一般的に消化器外科は、上部(食道, 胃), 中部(肝臓, 胆道, 膵臓), 下部(結腸, 直腸)と大別される領域と臓器に分かれているため, 各分野で互いに影響を与えながら, 切磋琢磨して発展進化を遂げている。その長きにわたる歴史は, まさに, “巨人の肩の上に乗る矮人”という絵画が象徴するものであったと考えられる。この絵画に対する解釈として, 科学者アイザック・ニュートンが, “私がかなたを見渡せたのだとしたら, それは巨人の肩の上に乗っていたからです”とロバート・フックに宛てた手紙で用いたとしてよく知られているが, 最初に用いたのは12世紀のフランス

の哲学者, シャルトル学派のベルナールとされる。いずれにしても, 偉大な先人たちの試みや業績に新たな知見やニーズ, 科学技術の発達が積み重なって新しい地平線が開かれていく様に相違ない。その進歩は, 外科医だけで成されたものではなく, Internal medicine (内科学), Knowledge (EBMなどの知識), Instrument (道具・機器), Morality (倫理観)などのInnovationにより支えられてきた。また, 消化器外科手術の進歩も19世紀に入ってから目覚ましいものがあるが, 1881年にオーストリアの外科医, Billrothがウィーン大学で行った胃癌に対する胃幽門側胃切除術から始まったといっても過言ではない。その後の約100年に渡る歴史は, まさに“Great surgeon, great incision”という言葉が代表する, “Safety first”を主眼に置いた時代ともいえる。すなわち, 患者の安全性を担保するため, 大きな皮切(体壁破壊)をおき, 外科医の“手”を腹腔内に挿入することで, 予定した術式を安全, 確実に素早く完結させることを目的としている。この間, がんの治療に対するOncologicalな理由で, 原発がんだけでなく周囲のリンパ節や臓器も切除する拡大手術の是非なども評価され, 消化器外科学は大いに進歩した。消化器外科における低侵襲手術は, 奇しくも, Billrothの幽門側胃切除から100年後の1981年にドイツの外科医, Seminにより世界で初めての腹腔鏡

Correspondence to Youichi Kawano, Department of Gastrointestinal and Hepato-Biliary-Pancreatic Surgery, Nippon Medical School Chiba-Hokusoh Hospital, 1715 Kamagari, Inzai, Chiba 270-1694, Japan

E-mail: y-kawano@nms.ac.jp

Journal Website (<https://www.nms.ac.jp/sh/jmanms/>)

Table 1 消化器外科の歴史

	1600s	1800s	1900s	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s	2010s
胃・食道		1881 Billroth ・胃幽門側胃切除術 1897 Schlatier ・胃全摘手術		1951 Lawrence ・胃癌に対する拡大手術は生存率改善に寄与しない 1953 Appleby ・Appleby手術				胃癌に対するD1リンパ節切除がEuropeとUSでStandardとなる 1991 Kitano ・世界初腹腔鏡補助下胃幽門側切除術 1992 Cuschieri ・世界初胸腔鏡下食道切除術 1994 Akashi ・日本初胸腔鏡下食道切除術	2002 Melvin ・世界初ロボット食道切除術 2002 Hashizume ・世界初ロボット幽門側胃切除術 2008 ・本邦で胃癌の傍大動脈リンパ節郭清の有用性を証明できず ・3D simulation/navigation technology ・術中 ICG 蛍光法 ・ロボット肝切除術 2003 Giulianiotti ・ロボット降切除術	2010 ・Douch trialで胃癌でのD2リンパ節郭清の有用性を報告 2017 ・胃癌で脾摘を伴わないD2リンパ節郭清が世界水準
肝・瘻	1654 Glisson ・Liver's (triple) vascular system	1888 Rex 1897 Cantlie ・肝右葉・左葉間を Cantlie line とする	1908 Pringle ・Pringle 法	Lin (Taiwan) ・finger fracture method 1950 Honjo ・世界初の肝右葉切除 1954 Couinaud ・8 区域分類				1991 Reich ・世界初腹腔鏡下肝切除術 1993 Kaneko ・日本初腹腔鏡下肝切除術 1994 Gagner ・世界初腹腔鏡下降切除術		
大腸・直腸		1826 Lisfranc ・会陰式直腸切除術	1908 Miles ・Miles 手術 1921 Hartmann ・Hartmann 手術			1978 Ravitch ・LAR	1980 Knight ・double stapling technique	1991 Jacob ・世界初腹腔鏡下大腸切除術	2002 Hashizume ・世界初ロボット大腸直腸切除術	
胆嚢・その他							・腹腔鏡下胆嚢摘出術開始 ・腹腔鏡下虫垂切除術開始	1997 Himpens ・世界初ロボット胆嚢摘出術		

## 消化器外科における低侵襲外科の歴史

- ▶ 1981年 Semm (独) により腹腔鏡下虫垂切除術が行われた (内視鏡による消化管の手術の始まり)。
- ▶ 1986年 個体撮像素子である CCD が開発
- ▶ 1987年 Mouret (仏) が腹腔鏡下に胆嚢摘出術を実施した (1985年 Muhe (独) が最初という説もある)。
- ▶ 1988年 内視鏡画面をテレビ画面上に拡大描出する技術が開発
- ▶ 1989年～1990年 米国を中心に世界中で Reddick (米) らによるトレーニングコースが開催され、腹腔鏡下胆嚢摘出術は爆発的に普及した。
- ▶ 1990年に山川 (帝京大学溝口病院) が日本初の腹腔鏡下胆嚢摘出術を実施した。



山川達夫先生

Fig. 1 消化器外科における低侵襲手術の歴史

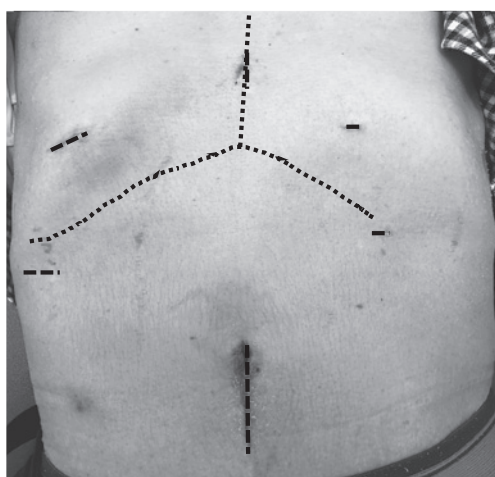


Fig. 2 開腹と腹腔鏡下肝左葉切除術の皮切の違い (点線：開腹手術，破線：腹腔鏡下手術 (臍部；カメラ用ポート用の 2 cm の縦切開 (後に標本摘出のために約 5 cm まで延長)，右肋骨弓下；腹腔内操作用の 1.2 cm，剣状突起下；1.2 cm，左肋骨弓下；5 mm，左肋骨弓下尾側；体外式 Pringle 法用の 5 mm 切開))

下虫垂切除術が施行された。ここから腹腔鏡手術時代に突入し、時代の流れもスピード感を増してくる。患者に対する大きな侵襲により“Safety first”を担保してきた時代から、“Patient friendly”を主眼とする時代への進歩とも言える。安全性、確実性を保ちつつ、患者への侵襲を減らすというアプローチが可能となり、まさに“低侵襲”手術の時代に入った。その歴史の中でも、1986年の個体撮像素子である CCD の開発が Technology の Innovation としては重大であり、

翌 1987 年に Mouret が腹腔鏡下に胆嚢摘出術を実施した。1988 年には、内視鏡画面をテレビ画面上に拡大描出する技術が開発され、その後、腹腔鏡下胆嚢摘出術は爆発的に普及した。1990 年に山川達夫が日本初の腹腔鏡下胆嚢摘出術を実施したが、同氏は日本医科大学の卒業生である (Fig. 1)。その後、各領域において腹腔鏡手術が爆発的に普及していくが、総じて、術中の出血量、術後の創部痛、合併症、術後退院までの日数が開腹手術に比して減少したとされる<sup>1</sup>。これらは、① 開腹手術では大気圧に解放されている出血点が、CO<sub>2</sub>での気腹圧による圧迫効果での出血量の減少、② 密閉空間である腹腔内の気腹により、温度、湿度の変化が開腹手術と比べ少ない体腔内環境維持、③ 少ない体壁破壊による創部痛の減少や痛み刺激による生体反応の軽減、④ 鉗子操作による臓器圧挫の減少による臓器侵襲軽減、⑤ 拡大視効果による最低限の剝離面積がもたらす炎症や免疫への影響減少がその理由とされている。また拡大視効果は、肉眼では判別できなかった解剖学的な新しい知見も生み、術野の共有や手術ビデオによる学習、教育も可能となっているため、外科医にとっても利益のある Innovation となっている。低侵襲性の一つである腹壁破壊の少なさについては、開腹の肝左葉切除時は、ベンツ切開と呼ばれる上腹部正中切開に両側肋骨弓下切開を加えた皮切で行われていたが、腹腔鏡手術では、臍部にカメラ用ポート用の 2 cm の縦切開 (後に標本摘出のために約 5 cm まで延長)、腹腔内操作用の右肋骨弓下に 1.2 cm，剣状突起下に 1.2 cm，左肋骨弓下に 5 mm，

Table 2 消化器外科領域術式別手術死亡率

	症例数	腹腔鏡手術割合	全体死亡率	腹腔鏡手術死亡率	腹腔鏡手術死亡リスク	腹腔鏡手術標準化死亡比
肝切除術*	23,489	5.1%	3.69%	2.27%	2.72%	0.83
膵頭十二指腸切除術	26,668	1.2%	2.86%	2.50%	2.54%	0.98
食道切除再建術	16,556	37.6%	3.03%	2.44%	2.71%	0.9
胃切除術	101,481	39.0%	1.07%	0.43%	0.61%	0.71
胃全摘術	57,997	15.7%	2.27%	0.89%	1.21%	0.73
右半結腸切除術	59,246	34.8%	2.20%	0.55%	0.78%	0.71
低位前方切除術	51,632	48.6%	0.74%	0.56%	0.59%	0.95

\*部分, 外側区域切除を除く1区域以上の高難易度手術 2015年1月 日本消化器外科学会, National Clinical Database (NCD)

その尾側に体外式 Pringle 法用の 5 mm 切開により同手術が可能となった<sup>2</sup> (Fig. 2). 順風満帆に普及して行くと思われた腹腔鏡手術であったが, 2014年に国内の2施設で, 特に肝胆膵手術後の手術関連死亡症例が相次いで報告され, その安全性が疑われるニュースが発表された. 2015年に日本消化器外科学会がNCDデータを緊急的に分析した結果, 各領域の腹腔鏡手術標準化死亡比は, 開腹手術に比べ1以下であり, むしろ腹腔鏡手術の安全性が確認される結果となった. 特に肝切除においては, 部分切除や外側区域切除を除いたいわゆる高難易度手術においても同比が0.83であったため (Table 2), 2016年からの保険適用拡大への流れとなった. いずれにしても, 腹腔鏡手術の安全性への啓蒙がなされたことにより, その後の健全な発展, 普及に寄与したことに間違いはない. 日本肝臓内視鏡外科研究会がまとめた前向き登録の集計では, 腹腔鏡下高難易度肝切除の術後30日死亡率は0.22%, 90日死亡率は0.67%と非常に良好な結果が報告された. 1990年代になり, ロボット手術時代に突入する. 1997年にHimpensらがロボット胆嚢摘出術を施行した<sup>3</sup>. 手術支援ロボットの開発はナビゲーション手術装置や内視鏡下手術の補助装置として1980年代から始まり, その後, 戦場での遠隔手術を目的としてコンソールの執刀医がロボットを操作して意のままに操るマスタースレイブ型の手術支援ロボットが開発された. 現在, 世界のロボット手術の市場を独占しているIntuitive Surgical社のda Vinci Surgical systemは2000年にFDAの承認を得て, 日本では2009年に薬事承認を得ている. このシステムは, 術者がコンソール内で手洗いすることなく座ったまま操作でき, 3Dモニターによる良好な視野, 操作性の高い鉗子, モーションスケール機能, 手振れ防止機能などの機能が搭載され, 腹腔鏡手術にない, より精緻な低侵襲手術が可能となった. このTechnologyのInnovationは,

消化器外科領域において“Surgeon friendly”な手術法であり, 今後の働き方改革, 外科医減少問題を解決するためのBreak throughになる可能性がある. 本邦での低侵襲手術の保険適用も, 腹腔鏡手術では1992年に腹腔鏡下胆嚢摘出術から約30年経った2020年にリンパ節郭清のある腹腔鏡下膵頭十二指腸術が, 2022年に胆嚢癌に対する拡大胆嚢摘出術が適用となった一方, ロボット手術では, 2018年に食道, 胃, 直腸に適用となり4年後の2022年には, 肝臓, 結腸, 胆道拡張症にまで拡大された. また, 胃切除術においては, 腹腔鏡手術よりも優越性が認められ, 保険点数が, 胃全摘手術は8万3,090点から1万5,760点増の9万8,850点, 幽門側胃切除手術は6万4,120点から9,470点増の7万3,590点, 噴門側胃切除手術は7万5,730点から4,270点増の8万点に増点されたことも含め, 低侵襲手術時代の流れの速さを実感することができる (Table 3).

### III. 当科における最小低侵襲手術 (MIS)

日本で最初に行われた腹腔鏡手術は, 本学卒業生である山川達夫教授が1990年に帝京大学溝口病院で施行した腹腔鏡下胆嚢摘出術であるが, 日本医科大学ではその翌年4月に山川先生の御指導の下, 最初の腹腔鏡下胆嚢摘出術を施行した. その後, 田尻孝教授時代となり, 黎明期, 創成期であった当科での腹腔鏡手術がその他の消化器外科領域へと発展, 成長してきた. とりわけ腹腔鏡下膵切除は, 院内での倫理委員会の承認を得て, 2004年3月に第1例目を施行し, 2007年には先進医療の認可を受けた<sup>4</sup>. その後も各領域での発展, 進歩が進んだが, その上でも大きなモチベーションや安全な手技の担保となったのが, 日本内視鏡外科学会技術認定制度であるともいえる. 内視鏡外科手術は, 低侵襲的であるなどの利点から, 消化器・一般外

Table 3 本邦における MIS の保険収載

	1992	1995	1996	2002	2010	2012	2014	2016	2020	2022
Laparoscopic Operations										
胃・食道		早期胃がんへの腹腔鏡下手術	早期大腸がんへの腹腔鏡下手術	食道がんへの胸腔鏡下手術 進行胃がんへの腹腔鏡下手術	腹腔鏡下肝部分切除術 腹腔鏡下肝外側区域切除術	腹腔鏡下脾尾部切除術(リンパ節なし)	腹腔鏡下脾頭十二指腸切除術(リンパ節郭清なし)	腹腔鏡下肝切除術(胆管・血管吻合を伴わないもの) 腹腔鏡下脾尾部切除術(リンパ節郭清あり)	腹腔鏡下脾頭十二指腸切除術(リンパ節郭清あり)	
肝・脾										
大腸・直腸			早期大腸がんへの腹腔鏡下手術							
胆嚢・その他			腹腔鏡下胆嚢摘出術							腹腔鏡下胆嚢悪性腫瘍手術(胆嚢床切除を伴う) 腹腔鏡下胆嚢悪性腫瘍手術(胆区域4a+5以上の肝切除を伴う)
Robot Operations										
胃・食道										
肝・脾									ロボット肝切除術	
大腸・直腸									ロボット結腸悪性腫瘍切除術	
胆嚢・その他									ロボット総胆管拡張症手術	



科, 呼吸器外科, 小児外科, 産科婦人科, 泌尿器科, 整形外科など, 多数の領域の手術に応用されているが, 内視鏡下の手術野で, 特殊な器具を用いて行う手術であり, 高度な技術が要求される. この日本内視鏡外科学会技術認定制度は, 内視鏡手術に携わる医師の技術を高い基準にしたがって評価し, 後進を指導するに足る所定の基準を満たした者を認定するもので, これにより本邦における内視鏡外科の健全な普及と進歩を促し, ひいては国民の福祉に貢献することを目的としている. 消化器外科では, 胆道, 大腸, 胃, 食道, 脾臓, 肝臓, 膵臓, ヘルニアの領域があり, その合格率はそれぞれ, 40, 30, 30, 31, 39, 24, 31, 24%となっている. これまで, 日本医科大学では計44名が合格し全合格者の約1.7%を占めている. 各領域での当科関係者が占める割合は, おおよそ, 2.3, 1.2, 0.7, 2.2, 3.0, 2.0, 7.8, 1.5%である. 全国的にも技術認定医の多い施設となっており, 前述した理念に見合った手術を心掛けている. 2021年度からは, 日本医科大学千葉北総病院でもロボット手術が直腸手術から導入され, 胃切除術, 結腸切除術へと安全かつ順調に適応を広げてきている. 今後, 食道, 膵臓, 肝臓領域にも適応を広げるため, 医局内だけでなく他科, 手術室看護師, ME部などと協力し, 十分な準備と安全な運営を心掛けていく予定である.

また, これまでの当科での歴史の中で, ポリウレタン製のX線不透過マーカー付き腹腔鏡用スポンジスパーサーであるセクレア®と先端吸引鉗子であるDolphin®が開発され, 特許取得をしており, それぞれホギメディカル社とホープ電子社から発売されている. MISを進歩させていくためには新しい器具の開発も重要な要素となる. 日本医科大学千葉北総病院では, 院内倫理委員会の承認を得て, セクレア®を鉗子に縫合固定して腹腔鏡下肝胆膵手術時に使用し, より愛護的で力強い臓器圧排を可能としている<sup>5</sup>.

#### IV. MISのための シミュレーションとナビゲーション

触覚に乏しく俯瞰的視野の取りづらさ MISの中でも, 肝臓領域では実質臓器であるがゆえに腫瘍局在や損傷により重大合併症につながる主要脈管走行や位置関係の把握は非常に重要となる. CT画像を3D構築することにより残肝術前のシミュレーションが可能となっているが, 消化器外科領域では3Dワークステーションの機能が向上し, 2012年に「肝切除手術における画像支援ナビゲーション」が保険収載された. そ

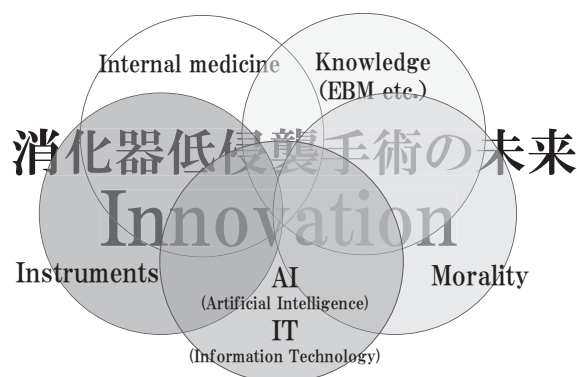


Fig. 3 消化器低侵襲手術の未来に向けての5つの Innovation

の後, シミュレーション技術は進歩しているが, Oshiroらが開発したLiversimは, 従来のソフトウェアに装備されている機能に加えて, ユーザー・インタラクションに基づいて肝臓モデルを自由自在に変形させ, さらに肝実質および肝内脈管を切離するシミュレーションが可能な機能を持つ. これにより, 肝離断中に刻々と変形していく様子が表現可能であり, 肝離断面に出現してくる肝内脈管の走行を確認できるという, より現実的なシミュレーションが可能となっている<sup>6</sup>. また, Indocyanine green (ICG)を用いた術中ナビゲーション技術もMISの中での大きなInnovationとなっている. これは, ICGに近赤外光を照射すると840 nm前後の蛍光を呈し, この波長は水やヘモグロビンに影響されにくく, 厚さ5~8 mmまでの生体組織を透過するため, 術中に癌組織やリンパ節・リンパ管などの生体構造および血流を描出するためのナビゲーションとして用いることができる. 肝胆道手術では, ICGの蛍光特性だけでなく胆汁排泄性を利用することにより, 近赤外蛍光イメージングを用いて肝外胆管の解剖や肝癌の位置, 肝区域の境界をリアルタイムに描出することが可能となる<sup>7</sup>. 特に肝臓手術では, 再肝切除の機会も多く, 癒着による肉眼的, 術中超音波検査での腫瘍同定が困難であるため, 手術が困難となる. そのような場合でもICG蛍光法により, より確実に正確な肝切除が可能となる<sup>8</sup>.

#### V. 未来のMIS

近年の情報技術 (Information Technology : IT) の Innovationは目覚ましく, 日常生活でも実感するところである. インターネット速度が10倍以上となる5G (第5世代移動通信システム) システムなど, 今後の進歩も期待される. 手術ロボットには, 触覚機能

の付与や人工知能搭載などの技術開発も進められていることから、今後、新たなロボット技術の開発、人工知能（Artificial Intelligence：AI）やITの発達などにより、さらに安全で精緻、患者だけでなく外科医、医療経済にとっても低侵襲な手術が発展していくと考えられる（Fig. 3）。最近のトピックスとしては、東京女子医科大学が中心になって開発されているスマート治療室“SCOT”（Smart Cyber Operating Theater）がある。これは、Internet of Things（IoT）とAIを活用した、手術室をあたかも1つの医療機器として機能させるものである。今後、“ロボット！〇〇手術しておいて！”とえば、その手術が自動で行われる時代が来るかもしれない。しかしながら、緊急対応、術前・術後管理、倫理観を伴った感情と科学のバランスの取れた治療選択などは人間である外科医の役割であるため、これらの精進を忘れてはならない。

Conflict of Interest：開示すべき利益相反はなし。

## 文 献

1. Cuschieri A: The spectrum of laparoscopic surgery. *World J Surg* 1992; 16: 1089-1097.
2. 川野陽一, 金谷洋平, 青木悠人ほか：腹腔鏡下左肝切除における“受け”を意識した定型化手技。手術 2021; 75: 1467-1473.
3. Himpens J, Leman G, Cadière GB: Telesurgical laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 1998; 12: 81091.
4. Nakamura Y, Uchida E, Aimoto T, et al: Clinical outcome of laparoscopic distal pancreatectomy. *J Hepatobiliary Pancreat Surg* 2009; 16: 35-41.
5. Kawano Y, Tani ai N, Nakamura Y, et al: Invention of Two Instruments Fitted with SECUREA™ Useful for Laparoscopic Liver Resection. *J Nippon Med Sch* 2016; 83: 107-112.
6. Oshiro Y, Yano H, Mitani J, et al: Novel 3-dimensional virtual hepatectomy simulation combined with real-time deformation. *World J Gastroenterol* 2015; 21: 9982-9992.
7. 石沢武彰, 長谷川潔：【肝癌治療のイノベーション—シミュレーション・ナビゲーション技術の新展開—】肝切除 ICG 蛍光法を用いたナビゲーション肝切除。肝胆膵 2018; 77: 1093-1099.
8. Yoshioka M, Tani ai N, Kawano Y, et al: Laparoscopic Repeat Hepatectomy with Indocyanine Green Fluorescence. *J Nippon Med Sch* 2019; 86: 291-295.

（受付：2022年7月9日）

（受理：2022年9月20日）

日本医科大学医学会雑誌は、本論文に対して、クリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 (CC BY NC ND) ライセンス (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) を採用した。ライセンス採用後も、すべての論文の著作権については、日本医科大学医学会が保持するものとする。ライセンスが付与された論文については、非営利目的の場合、元の論文のクレジットを表示することを条件に、すべての者が、ダウンロード、二次使用、複製、再印刷、頒布を行うことができる。