金融工学特許

会員・日本弁理士会知的財産価値評価推進センター知的財産価値評価人候補者　堀　城之

要　約

金融工学（financial engineering，computational finance）は，資産運用や取引，リスクヘッジ，リスクマネジメント，投資に関する意思決定などに関わる工学的研究全般を指す。昨年暴騰・暴落し今年になって再度急騰しているビットコイン，仮想通貨，暗号通貨や，フィンテックと言われる概念なども普遍的に金融工学に含まれると考えられる。係る特許を金融工学特許として以下に説明する。

目次

1．金融工学特許の年別日本出願件数

（1）仮想通貨：

2019 年（30 件）| 2018 年（65 件）| 2017 年（37 件）| 2016 年（27 件）| 2015 年（18 件）| 2014 年（19 件）| 2013 年（14 件）| 2012 年（7 件）| 2011 年（4 件）| 他（39 件）

暗号通貨：

2019 年（3 件）| 2018 年（3 件）| 2017 年（9 件）| 2016 年（2 件）| 2015 年（2 件）

（2）ブロックチェーン：

2019 年（49 件）| 2018 年（77 件）| 2017 年（69 件）| 2016 年（11 件）| 2015 年（1 件）| 2010 年（2 件）| 2008 年（1 件）| 2006 年（2 件）| 2004 年（1 件）| 他（22 件）

今後，各国の動向によっては増加することも考えられる。

ブロックチェーン技術関連の世界の特許出願数，また複数国への特許出願を指す「パテントファミリー」が，長年研究されてきた量子コンピュータ関連など他技術の出願数を大幅に上回ったという。英メディア「コンペロ」が 2019 年 6 月 5 日に報じた。

同記事によると，ブロックチェーン技術関連の特許出願数は 2014 年以降驚異的に増加しており，2016 年と 2017 年の 2 年間で 2600 件を超える出願があったという。またブロックチェーン技術関連の出願のうち半数以上（約 59.6％）がこの 2 年間に出願されたものだそうだ。

ウィザーズ＆ロジャーズのフィル・ホーラー氏は，ブロックチェーン関連の出願はさらに増加し，今後数年間はハイテク関連特許のトップであり続けるだろうと予想した。

なお，出願された特許の国別内訳は，第 1 位米国（1680 件），第 2 位中国（1590 件），また第 3 位は英国（270 件）だったという（コインテレグラフジャパン　2019 年 6 月 14 日）。

2．仮想通貨の現状

BitCoin

ビットコインは代表的仮想通貨であり，聞いたことがある方も多いであろうし，億り人（株や FX，仮想通貨取引など各種トレードで資産額が 1 億円に到達した人）になった人もいるであろう。2018 年初めに 2 万ドルを超えてから同年末にかけて 4000 ドルまで大暴落し，その後，1 万ドルまで急騰した（2019 年 6 月 21 日）。二匹目のドジョウを狙っている方もいると思われる。

日本では，三菱 UFJ 銀行が 2019 年 3 月に MUFG コインを発表した（https://www.lecotox.net/mufg-coin-16299/）。実用化は 2019 年後半だそうだ。

みずほ銀行は，J コインの発行を決定した。（https://

Investing.com よりチャート，一目均衡表（上段），MACD（中段：マックディーと呼びます），RSI（下段）

crypto-times.jp/mizuho_j-coin_issuance/)。

「海外送金を即時決済　日米欧の銀行，電子通貨構想」を日経新聞が2019年6月3日に報じた。日米欧の有力銀行が海外送金の即時決済に向け動き出す。銀行間の取引に使う独自の電子通貨を発行し，それを介する形で送金する。いくつもの銀行を経由して送金する今の仕組みに比べると，個人や企業が負担する手数料が下がる可能性がある。外国出願で外国送金する場合の手数料が下がるということで我々にも大いに関係する。

海外では，MGI（マネグラムインターナショナル）が仮想通貨リップルと組み仮想通貨実験を行うと発表した（2019年6月18日 Investing.com)。MGIの株価は1日で約3倍に急騰した。また，2019年6月13日　ロイターによればFANNGの一角である米フェイスブックが計画する新たな仮想通貨に，ビザやマスターカード，ペイパル・ホールディングス，ウーバー・テクノロジーズなど10社以上が支持を表明している。米紙ウォール・ストリート・ジャーナル（WSJ）が13日，関係筋の話として伝えた。報道によると，各社は新仮想通貨を管理するコンソーシアムにそれぞれ約1000万ドルを出資し，資金はコインの発行に充てられる。コインは政府発行通貨のバスケットにペッグ（連動）させるという。仮想通貨をリブラ（libra）であるとし，デジタル通貨「Libra」のためのウォレット「Calibra」を2020年にローンチすると発表した（2019年6月21日，Investing.com)。運営主体がどこの馬の骨か分からないのとは訳が違い，フェースブックが運営するだけに影響力が大きい。同社の株価も発表後約20%上昇した。

3．金融工学の歴史

金融工学は新しい学問領域であるといわれるが，その淵源はマンハッタン計画といわれる。これは金融工学が1950年代以降，経済学・会計学・工学・数学など様々な学問領域と接点を持ちながら形成されてきたためである。金融工学の中でも画期的な研究としては，1950年代にハリー・マーコウィッツが示した現代ポートフォリオ理論や，1970年代にブラック - ショールズ方程式，Harrison，Kreps，Pliskaらによる確率同値における無裁定性と均衡などが有名である（wikipedia）。上記のごとく，金融工学の形成は1950年以降と言われているが，世間に知られるようになったのはブラック - ショールズ方程式により当該式の発明者であるフィッシャー・ブラックとマイロン・ショールズがノーベル経済学賞を受賞してからであり，現代金融工学の端緒であると筆者は考えている。

4．ブラック・ショールズ方程式

該式は，現代金融工学の端緒となった式である。

$$\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 V}{\partial {S_t}^2}\sigma^2 {S_t}^2+\frac{\partial V}{\partial S_t}rS-rV=0 \cdots\cdots\cdots 式(1)$$

これが，ブラック・ショールズ方程式であり，フィッシャー・ブラックとマイロン・ショールズにより発明された偏微分方程式である。オプション取引（ヨーロピアンオプション）における理論価格の決定に用いられるものとして広く普及した。この功績により1997年のノーベル経済学賞の受賞対象になった。現在では，ブラック・ショールズ方程式が，知的財産価値評価（pl－x社のTRRU（TM）等），パテントポートフォリオ，知的財産価値デューデリジェンスなどにも適用されている。また，「知財 過度な節税防止 海外移転後，高収益で再課税」という記事も発表され，（2017年3月10日　日本経済新聞電子版），当該知財評価にも用いられる。これらの手法においてはブラック・ショールズ方程式は基本の基であり且つ大変重要な式であり，知的財産価値評価にも用いられる。

ブラック・ショールズ方程式の解法

ブラック・ショールズ方程式は，*wikipedia*等にも記載されているように熱伝導方程式に変換できる。以下簡便に記載する。

$$x=logS_t$$

と仮定すると，

$$\frac{\partial}{\partial S_t}=\frac{1}{S}\frac{\partial}{\partial x},\quad \frac{\partial^2}{\partial {S_t}^2}=-\frac{1}{{S_t}^2}\frac{\partial}{\partial x}+\frac{1}{{S_t}^2}\frac{\partial^2}{x^2}\cdots\cdots\cdots 式(2)$$

$\tau'=T-t$

T：ポートフォリオ満了日　t：初期値0から経過時間とすると，

$$\frac{\partial}{\partial t}=-\frac{\partial}{\partial \tau'}\cdots\cdots\cdots 式(3)$$

式（2），（3）を式（1）に入れると

$$-\frac{\partial V}{\partial \tau'}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 V}{\partial {S_t}^2}\sigma^2+\left(r-\frac{1}{2}\sigma^2\right)\frac{\partial V}{\partial S_t}rS_t-rV=0\cdots\cdots 式(4)$$

Vの解を$e^{ax+b\tau'}U$と仮定すると，

$$\frac{\partial V}{\partial \tau'}=be^{ax+b\tau'}U+e^{ax+b\tau'}\frac{\partial U}{\partial \tau'}\cdots\cdots\cdots 式(5)$$

$$\frac{\partial V}{\partial x}=ae^{ax+b\tau'}U+e^{ax+b\tau'}\frac{\partial U}{\partial x}\cdots\cdots\cdots 式(6)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}=\left(a^2e^{ax+b\tau'}U+ae^{ax+b\tau'}\frac{\partial U}{\partial x}\right)+\left(ae^{ax+b\tau'}\frac{\partial U}{\partial x}+e^{ax+b\tau'}\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)\cdots\cdots\cdots 式(7)$$

式（5）～（7）を式（4）に代入すると，

$$-\left(be^{ax+b\tau'}U+e^{ax+b\tau'}\frac{\partial U}{\partial \tau'}\right)+\frac{1}{2}\sigma^2\left[\left(a^2e^{ax+b\tau'}U+ae^{ax+b\tau'}\frac{\partial U}{\partial x}\right)+\left(ae^{ax+b\tau'}\frac{\partial U}{\partial x}+e^{ax+b\tau'}\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)\right]+\left(r-\frac{1}{2}\sigma^2\right)\left(ae^{ax+b\tau'}U+e^{ax+b\tau'}\frac{\partial U}{\partial x}\right)+re^{ax+b\tau'}U=0$$

両辺を$e^{ax+b\tau'}$で除して，微分階数で整理すると，

$$-\frac{\partial U}{\partial \tau'}+\frac{1}{2}\sigma^2\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\left[\left(r-\frac{1}{2}\sigma^2\right)+\frac{1}{2}a^2\sigma^2+\frac{1}{2}a^2\sigma^2\right]\frac{\partial U}{\partial x}+\left[-b+\left(r-\frac{1}{2}\sigma^2\right)a+\frac{1}{2}a^2\sigma^2+r\right]U=0\cdots\cdots\cdots 式(8)$$

熱伝導方程式にするには，第3項及び第4項の［　］の中をゼロにする必要があるから連立方程式としてa，bを計算しそれを代入すれば良い。

すると，式（8）は

$$-\frac{\partial U}{\partial \tau'}+\frac{1}{2}\sigma^2\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}=0\cdots\cdots\cdots 式(9)$$

となる。

$$\tau=\frac{1}{2}\sigma^2\tau'$$

と置くと，式（9）は，

$$\frac{\partial U}{\partial \tau}=\frac{1}{2}\sigma^2\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\cdots\cdots\cdots \text{式(10)}$$

となる。因みに左辺を2階にすれば振動方程式である。いずれも，変数分離で解くことができる。熱伝導方程式の解は，熱力学の書物に出ているのでそれらを参照されたい。

ブラック・ショールズモデルは，ヨーロピアン・コールオプション（売買権）の価格を決定するものなので，ヨーロピアンコールオプションの形で解を記載すると以下になる。

$$C(S_t,t) = S_tN(d_1)-e^{-r(T-t)}\mathrm{K}N(d_2)\cdots\cdots\cdots \text{式(11)}$$

ここで，

N：標準正規累積分布関数

$$d_1=\frac{\log\left(\frac{S_t}{\mathrm{K}}\right)+\left(r+\frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}},\quad d_2=\frac{\log\left(\frac{S_t}{\mathrm{K}}\right)+\left(r-\frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

S_t：株価　K：行使価格　σ：ボラティリティ

e：2.7182　r：利子率　T：ポートフォリオ満了日

t：初期値0からの経過時間

さらに使いやすい汎用ブラック・ショールズモデルと呼ばれている形式も記載する。

$$C(S_t,t)=e^{-qTt}S_tN(d_1)-e^{-rTt}KN(d_2)\cdots\cdots\cdots \text{式(12)}$$

q：原資産利回り

Tt：期間（1年なら“1”，半年なら“0.5”）

計算するには，各係数をwindowsの関数電卓で計算して式（11）に入れれば良いだけである。エクセルで計算式を作成し，各係数を入力するようにすれば簡単に計算できる。Nについては，エクセルのnormsdist関数で求めることができる。

5．フィンテック（Fintech）

実はブラック・ショールズ方程式に係る金融商品が破綻しリーマンショックが起きたといわれている。以降に勃興したとされているのがフィンテックである。フィンテックはファイナンスとテクノロジーを合わせた造語である。フィンテックは非常に広い概念と思われ，要約で記載したビットコイン，仮想通貨，暗号通貨も含まれる。仮想通貨，暗号通貨は同一概念である。Investing.comでは仮想通貨に統一されている。仮想通貨には多数の種類があり，その一つがビットコインである。その他に，イーサリアム，リップルなど100種類以上ある。仮想通貨で，百回生きても使えきれないほど儲けた人もいると思われる（筆者ではありません）。また，最近では人工知能による株価予想システム等も含まれる。

6．仮想通貨・暗号通貨

実は，仮想通貨を発明したのはSatoshi Nakamotoという人物と言われている[1]。実際に日本人かどうかはわからない。また，以前，Satoshi Nakamotoは，宇宙際タイヒミュラー理論を発明しABC予想を解いたと言われる京都大学数理解析研究所教授望月新一[2]ではないかと真しやかに囁かれていた[3]。しかし，本人はブログで強く否定したらしいので違うのであろう。残念ながら筆者は当該ブログを見つけることはできなかった。

仮想通貨の元になった論文のAbstractの訳文を以下に示す。

この論文にSatoshi Nakamotoが記載されている。この論文で既にBitcoinと記載されているところが注目される。以下に，論文の訳文を掲げる。

「ビットコイン：P2P電子マネーシステム

中本 哲史

satoshi@gmx.com

www.bitcoin.co.jp

概要　純粋なP2P電子マネーによって，金融機関を通さない甲乙間の直接的オンライン取引が可能になる。電子署名は問題の一部を解決するが，依然信用できる第三者機関による二重使用予防が求められため，その恩恵は失われる。当システムはP2P電子マネーにおける二重使用問題の解決を提案する。このネットワークは取引に，ハッシュベースの継続的なプルーフ・オブ・ワークチェーンにハッシュ値として更新日時を記録し，プルーフ・オブ・ワークをやり直さない限り変更できない履歴を作成する。最長である一連のチェーンは，取引履歴を証明するだけでなく，それがCPUパワーの最大のプールから発せられたことを証明する。大多数のCPUパワーがネットワークを攻撃していないノード（ネットワーク接続ポイント）によってコントロールされている限り最長のチェーンが作成され，攻撃者を凌ぐ。ネットワーク自体は最小限の構成でよい。メッセージはベストエフォートで送信され，ノードは自由にネットワークから離脱，再接続することができ，離脱していた間のイベントの証明として最長のプルーフ・オブ・ワークチェーンを受信する[4],[5]。」

この論文の中に，仮想通貨の技術的中核をなすブロックチェーン（論文中では単に“chain”と称されている）が開示されている。ブロックチェーンは，「ブロック」と呼ばれるデータの単位を生成し，鎖（チェーン）のように連結していくことによりデータを保管するデータベースである。つまり，ここでいうブロックはノードである。主鎖（真ん中縦軸）の同一性は，起源ブロック（一番下）がもつハッシュ値を究極的な拠り所とする。すなわち，各々のブロックは，その一つ前のブロックのハッシュ値を持っており，そのハッシュ値を遡ってたどることで，ブロックが，どのようにつながっているかをたどることができる。主鎖は，起源ブロックから現在のブロックまでの最長の一連のブロックとすると定義されている。そのため，たとえフォークと呼ばれる，あるブロックを一つ前のブロックとして指し示すブロックが複数作成され，ブロックチェーンが分岐する現象が起きたとしても，そのうち長いほうが主鎖として合意され，その他のものは孤児ブロック（枝）として，主鎖の外側に存在する。また，まれにフォークを故意に起こし，主鎖でない方のブロックチェーンを別の仮想通貨のブロックチェーンとして扱うハードフォークが行われることもある。

あるブロックチェーンに参加する者のうち，プルーフ・オブ・ワーク（PoW）と呼ばれる，計算に時間のかかる値を最初に計算した者が，次のブロックを生成することができる（Proof-of-stake（PoS）など別の手法もある）。あるブロックの内容はそのブロックのハッシュ値が直後のブロックに記載されることで証明されている。そのため，いったんチェーンに追加されたブロックを改竄するには，それ以降のブロックを全て破棄し，これまでに時間をかけて行われてきた各ブロックのプルーフ・オブ・ワークの演算を全てやり直さなくてはならないため，現実的には改竄はできないとされている。要約値とも呼ばれるハッシュ値は，データの同一性・関連性を認める際に目安となるが，その信頼性は，異なるデータから同一のハッシュ値が生成される衝突の頻度による。ブロックチェーンに応用した場合は，改竄でないデータを改竄として検出しないかどうか，応用自体の正否に立ち入った検証を必要とする。

ブロックチェーンは，Ethereumにより，お金の帳簿であったものが拡張され，任意のプログラムを帳簿として載せることが可能になったが，これにより，銀行業務，役所業務をはじめ，IoTなどの分野に応用することが可能となった（wikipedia）。斯かるシステムなので改良の余地が多数あり，出願されている。出願件数は1で述べたとおりである。

以上

（注）

(1) wikipedia
https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B5%E3%83%88%E3%82%B7%E3%83%BB%E3%83%8A%E3%82%AB%E3%83%A2%E3%83%88
表題：サトシ・ナカモト
著者：不明
作成日：不明
ウェブアドレスアクセス日：2019年8月7日

(2) 望月研究室のURL
http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~motizuki/
表題：宇宙際幾何学者
著者：不明
作成日：不明
ウェブアドレスアクセス日：2019年8月7日

(3) youtube 8:10〜
https://www.youtube.com/watch?v=emDJTGTrEm0&feature=player_embedded&fbclid=IwAR19ooKe8_TPH0KV5SrTcBb02UOQcXlY2qPwCvY4JYXIPK8XKJLuBSftxnI
表題：I Think I Know Who Satoshi Is
著者：不明
作成日：不明
ウェブアドレスアクセス日：2019年8月7日

(4) 全原文のURL
https://bitcoin.org/bitcoin.pdf
表題：Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System
著者：Satoshi Nakamoto
作成日：不明
ウェブアドレスアクセス日：2019年8月7日

(5) 翻訳文のURL
http://www.kk-kernel.co.jp/qgis/HALTAK/FEBupload/nakamotosatoshi-paper.pdf
表題：日本語で読むビットコイン原論文［by Satoshi Nakamoto］
著者：不明
作成日：不明
ウェブアドレスアクセス日：2019年8月7日

（原稿受領 2019.6.13）