

雨水活用装置の最適化を目的とした Web アプリケーションの開発*

笠井 利浩^{*1}, 前川 翔太^{*2}

Development of the Web Application for Optimization of Rainwater Harvesting System

Toshihiro KASAI^{*1} and Shota MAEGAWA^{*2}

^{*1} Department of Management and Information Sciences

In recent years, small-scale rainwater harvesting systems are installed for the purpose of tap water conservation. The efficiency of the rainwater harvesting system changes by the precipitation patterns of the area and water usage patterns. However, small-scale rainwater harvesting systems are installed without consideration of the system operation efficiency. In this research, a web application for optimization of rainwater harvesting system was developed. This web application can perform the rainwater harvesting system operation simulation which considers the precipitation and water use patterns of all areas of Japan. Moreover, the web application is able to calculate the most suitable rainwater storage tank capacity and rainwater collection area.

Key Words : Rainwater harvesting system, Operation efficiency, Computer simulation, Web application

1. はじめに

現在、地球全体の水は約 14 億 km³ 存在しているが、その大部分は海水として存在しており、淡水は全体の約 2.5%に過ぎない⁽¹⁾。さらに、その殆どは氷や氷河、地下水として存在しているため、地表水として存在する人が利用しやすい淡水資源は 0.01%しかない。日本の水資源は、年間平均降水量が約 1700mm あることから、比較的恵まれた状況にある。しかしながら、地球温暖化による気候変動などにより、今後極端な気象現象が増加することが予測され、ゲリラ豪雨や渇水による水資源問題が起きる可能性が高い。そのため、水資源確保や都市型洪水の緩和を目的とした雨水活用装置の設置が増加している。代表的な例として、東京都墨田区にある東京スカイツリーや東京ドーム等が挙げられる。このような大規模雨水活用システムの場合、専門家によって事前に最適なシステム設計が行われ、設備規模や稼働効率についても検討されている。しかしながら、一般住宅などに設置される小規模な雨水活用装置の場合、稼働効率などについて考慮されないままに設置されている場合も多い。稼働効率は、各地域の降水特性や水の使い方によって大きく変化することから、設計段階における雨水活用装置の最適化は重要である。現在、雨水活用装置の稼働シミュレーションソフトは少数ながらインターネットでも公開されている⁽²⁾。しかしながら、既存のソフトウェアでは各地域の降水パターンを考慮した稼働効率の算出ができないのが現状である。

本報では、今回開発した雨水活用装置の稼働効率の最適化を目的とした Web アプリケーションを報告する⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。この Web アプリケーションは、各地域の降水パターンや複数の水使用パターンを考慮したシミュレーションが行える。また、最適な雨水貯留タンク容量および集水面積を提案する新たな機能も備え、総合的な評価が行えるアプリケーションとなっている。この Web アプリケーションを一般に公開し、誰もが簡単に使えるようにすることで稼働効率の高い雨水活用装置が増え、水資源の確保や都市型洪水の緩和に貢献できる。

* 原稿受付 2015 年 2 月 27 日

^{*1} 経営情報学科

^{*2} 社会システム学専攻 博士前期課程 1 年

E-mail: kasai@fukui-ut.ac.jp

2. 方法

2.1 データの調整

シミュレーションには、① AMeDAS 降水データ ② 集水面積 ③ 1世帯当たり人員 ④ トイレ洗浄用水・洗濯用水使用量 ⑤ 造水費用 ⑥ CO₂ 排出源単位 を使用した。シミュレーションに用いる AMeDAS 降水データには、近年の気候変動を考慮して比較的新しい降水データ（2000～2009 年の 10 年間）を用いた。降水データには 10 分値データを使用する予定であったが、サーバへの負荷軽減やシミュレーション速度の向上を考慮し、10 分値データを 1 時間値データとして再集計したものをを用いた。集水面積は一般的に屋根面積を用いるが、全量収集できないことを考慮し、住宅・土地統計調査の市区町村別平均建築面積を用いた⁽⁶⁾。1 世帯当たり人員は、市区町村別の 1 世帯に生活している平均な人数を割り当てた。水使用量のトイレ洗浄用水と洗濯用水は、先行研究において福岡県の団地で調査されており⁽⁷⁾、シミュレーションで使用できるようまとめた値を用いた⁽⁸⁾。これら集水面積、1 世帯当たり人員および水使用量については、入力変更可能な条件のため、上記データをシミュレーション設定条件の初期値とした。造水費用は、上水道水造水時にかかる費用として、各水業事業者の営業費用を分水量と給水量の合算値で除した値とした⁽⁹⁾。環境負荷削減効果算出には、上水道水と電気の CO₂ 排出原単位を用いた。上水道水は、環境負荷原単位データブックより 1.36 (t-CO₂/百万円)、電気の CO₂ 排出源単位は、「電気事業における環境行動計画」より CO₂ 排出源単位 0.476 (kg-CO₂/kWh) とした⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

シミュレーションに用いる AMeDAS 降水データは、シミュレーションを行う地域の庁舎から最短距離にある地域気象観測所としてきた。しかしながら、シミュレーションを行いたい地域の降水パターンとかけ離れている場合がある。そのため、市区町村庁舎から最寄りの地域気象観測所 3 ヶ所を選択可能にした。庁舎と地域気象観測所の距離算出には、それぞれの経度、緯度から算出した (式(1))。経度、緯度の検索には、住所から算出するジオコーディングを使用した⁽¹²⁾。

$$\text{Distance} = \text{SQRT} ((91 \times (X1 - Y1))^2 + (111 \times (X2 - Y2))^2) \quad (1)$$

X1: Government office building longitude. X2: Government office building latitude.

Y1: Local meteorological station longitude. Y2: Local meteorological station latitude.

2.2 雨水活用装置モデル

Web アプリケーションで選択できる雨水活用装置モデルを、Fig. 1 に示す。シミュレーションで条件設定できる雨水活用装置の構成要素は、初期雨水カット装置と貯水タンクである。初期雨水には、大気中や集水面の汚れを洗い流していることから塵やゴミが含まれており、一般的に初期雨水除去が行われている。開発したシミュレーションソフトにおいても、初期雨水カット装置の有無やその排水孔の大きさなどについて設定できるようにした。雨水貯留タンクについては、設置方法として地上、地下および高置タンクが選択できるようになっている。シミュレーションでは、貯水タンクの位置によって変化する送水ポンプの消費電力の増減についても評価が行われる。雨水活用装置の形状については、一般モデルとして貯留タンク高さと直径が等しい円筒形のタンクと仮定して計算を行う。初期雨水カット装置についても貯水タンクと同じ形状とし、底部から徐々に初期雨水が排水される構造としてシミュレーションを行うものとした。排水量の計算には、トリチェリの定理を用いた (式(2))。

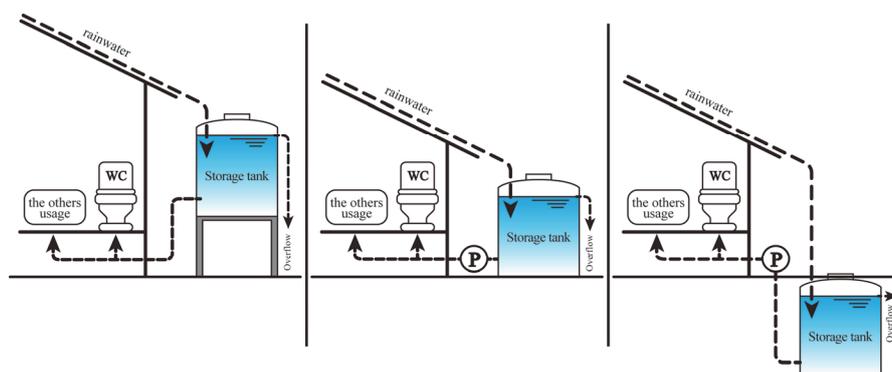


Fig. 1 Config image of rainwater harvesting system.

$$Q = C \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \sqrt{2gh} \tag{2}$$

2.3 開発環境

Web アプリケーションの開発には、Microsoft 社が提供している統合開発環境である Visual Studio 2010 と Visual Basic (以下、VB) を用いた⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。VB は、フォーム上にボタンやテキストボックスなどの GUI を配置して、クリックなどの動作を記述するプログラム言語である。そのため、開発者は GUI 描画の処理プログラムを記述することなく、動作の処理だけを記述することでソフトウェアの開発ができる。また、Web アプリケーションのフレームワークには、ASP.NET を用いた⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。ASP.NET により、VB を使用しても Windows アプリケーションを開発する感覚と変わることなく Web アプリケーションを開発できる。Web アプリケーション動作のサーバには、ASP.NET を使用していることから WindowsOS でサービスを提供していることが最低条件となる。そのため、WindowsOS でレンタルサーバを提供している中でも比較的安価で維持できる ExpressWeb を選択した。

2.4 雨水活用装置稼働シミュレーションの流れ

シミュレーションは、雨水貯留タンク内の雨水量は 0m³ から開始する。その後、降雨があるに従って、雨水集水量や初期雨水排水量が発生すると共に時間帯に応じた水使用量も発生する (Fig. 2)。初期雨水カット装置の排水孔からはその水位に応じて常時雨水が排出され、それ以上の集水雨水は雨水貯留タンクに流入・貯水される。雨水貯留タンクに流入した水量から水使用量を差し引き、計算上の貯水量が貯留タンク容量以上となった場合には、貯水タンク容量との差分をオーバーフロー量とした。また、雨水貯水量、上水使用量および雨水使用量についても算出した。送水ポンプの消費電力は、先に求めた雨水使用量から想定するポンプの性能曲線を考慮して求めた。これらを 10 年間分繰り返し行い、各項目の月別および 10 年間の平均値を算出した。

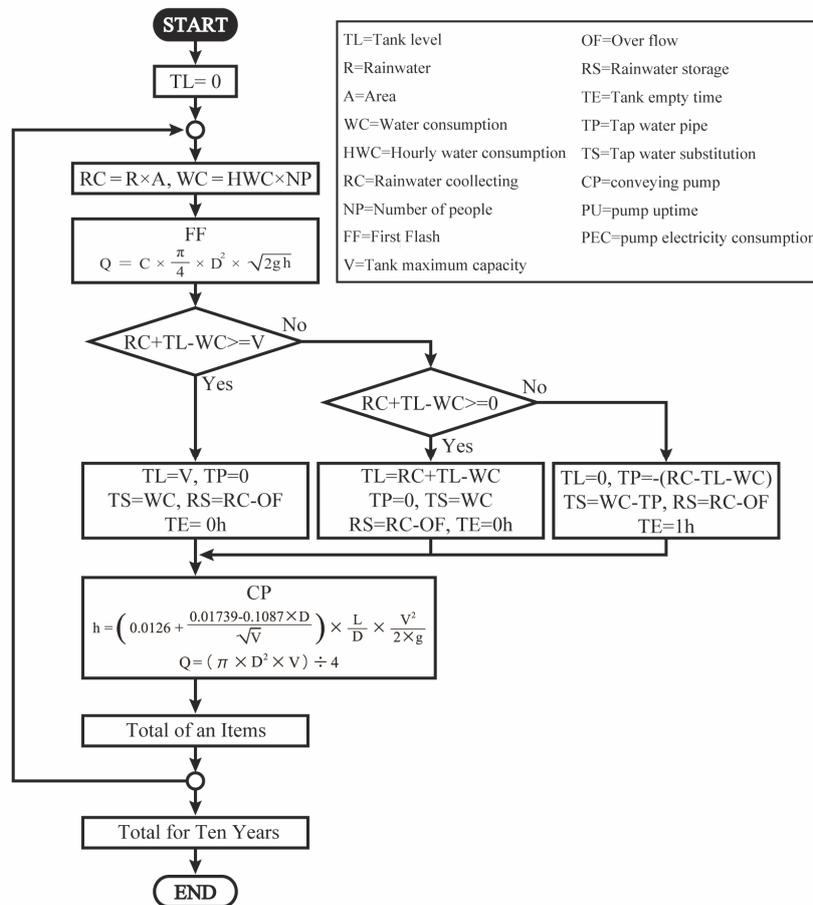


Fig. 2 Flowchart for rainwater harvesting system operation simulation.

2.5 環境負荷削減効果の算出方法

先の雨水活用装置稼働シミュレーション結果から、3EID の手法を用いて環境負荷削減効果を算出した。この 3EID は、製品の購入金額に CO₂ 排出原単位を乗ずることで製造時の環境負荷量 (CO₂ 換算) を算出できる手法である。環境負荷削減効果は、上水道水代替による CO₂ 削減量と送水ポンプ稼働による CO₂ 排出量から算出した (式 (3), 式 (4))。

$$\text{CO}_2\text{R (g-CO}_2) = \text{CO}_2\text{EF (t-CO}_2\text{/1 million yen)} \times \text{FWGC (yen/m}^3) \times \text{RC (m}^3) \quad (3)$$

$$\text{CO}_2\text{EA (kg-CO}_2) = \text{CO}_2\text{EF (kg-CO}_2\text{/kWh)} \times \text{EC (kWh)} \quad (4)$$

CO₂R: CO₂ reduction FWGC: Fresh water generation cost RC: Rainwater consumption
 CO₂EA: CO₂ emission amount CO₂EF: CO₂ emission factor EC: Electricity consumption

2.6 Google Chart API

シミュレーションの結果表示には、Google Chart API を用いた⁽¹⁷⁾。この API は、Google 社が開発したブラウザで使用できるグラフ作成サービスである。作成できるグラフは、最大 30 万ピクセルの PNG 形式画像となる。グラフの各種設定は、下記 URL にパラメータ (Table 1) を付加することでグラフ作成と同時に指定することができる。指定できるパラメータの一部を、Table 1 に示す。各種パラメータは、シミュレーション結果によって動的に変化するため、VB を用いて適切な形式に修正して付加した。

<http://chart.apis.google.com/chart?&パラメータ①&パラメータ②>

Table 1 Parameter list which can be used in Google Chart API.

Parameter	Description	Parameter	Description
chtt	Title	cht	Graph type
chts	Style	chco	Color
chd	Data	chds	Maximum and minimum of data
chdl	Legend	chdpl	Order of legend
chxt	Axes	chxl	Axes space
chm	Maker shape	chma	Margin of graph
chf	Background	chl	Item name of pie chart
chs	Image size	chxs	Font of axes
chp	Start point of pie chart	chxp	Axes scales
chg	Gridline	chls	Line style

2.7 セキュリティ対策

Web アプリケーションのセキュリティ対策として、会員制度を導入した。会員制度により事前に会員登録を行わなければならないため、セキュリティ向上に繋がる。登録には、名前、所属、使用理由などを入力しなければならない。また、会員登録を自動で行うプログラムも存在しているため、自動登録の防止を目的に画像認証システムを導入した (Fig. 3)。画像認証システムは、英数字の文字列を画像で表示し、ユーザの入力した文字列と整合性をチェックするシステムである。



Fig. 3 Picture authentication system for automatic registration prevention.

2.8 最適な雨水活用装置の提案

本研究では、シミュレーションにより最適な雨水活用装置を提案する「装置診断テスト」機能を実装した。最適な雨水活用装置の算出方法を、下記に示す。

装置の診断テストでは、シミュレーションの設定条件を基に貯水タンク容量と集水面積を 1/4 倍、1/2 倍、2 倍、4 倍とそれぞれ変化させ、シミュレーションを行う。その結果の雨水活用率と貯水タンク容量、屋根面積を用いて最小 2 乗法で曲線近似式を算出する。この曲線近似式を用いて、50 ケ所の点を散布図で描き、傾きの最大値および最小値を微分により求める (Fig. 4)。求められる傾きの最大値 0.5~1% の範囲 (Fig. 4 オレンジ色部分) を雨水活用装置の最適値とした。Web アプリケーションでは、以上のように求めた最適な雨水活用装置を設定されたシミュレーション設定条件と比較し、最適化した貯水タンク容量と屋根面積が提案される。

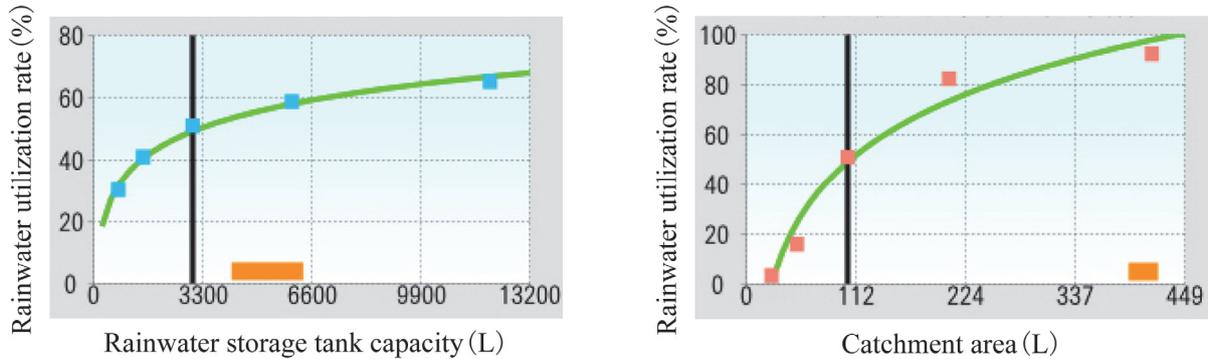


Fig. 4 Example of rainwater harvesting system optimization.

3. Web アプリケーションの操作方法

Web アプリケーションの条件設定画面からシミュレーション結果表示までの画面の流れを、Fig. 5~9 に示す。シミュレーションの条件設定は、① 地域 ② AMeDAS 降水データ ③ 雨水活用装置の構成 ④ 貯水タンク容量 (Web アプリケーション内における、雨水貯留タンク容量の名称) ⑤ 配管延長・内径 ⑥ 屋根面積 ⑦ 初期雨水排除量・初期雨水タンク容量 ⑧ 初期雨水タンク排出孔 ⑨ 水道・電気料金 の順に決定する。シミュレーション地域の設定は、表示されている日本地図から都道府県を選択し、市区町村リストから地点を決定する (Fig. 5)。地点決定後、抽出されている 3 ケ所から地域気象観測所を選択する (Fig. 6)。降水データは、近隣の地域においても異なる気候の場合があるため、シミュレーションを行いたい地域の降水パターンに合った地域気象観測所を選択する必要がある。



Fig. 5 Settings display of simulation area for rainwater harvesting system operation simulation.



Fig. 6 Settings display of AMeDAS data for rainwater harvesting system operation simulation.

地域気象観測所を選択した後、雨水活用装置のシステム構成を決定する (Fig. 7)。初期設定では、最も一般的な構成である、初期雨水カット装置が付いた、地上設置型の雨水貯留タンクとしている。装置構成の変更は、Fig. 7 に示す右側のボタンで変更でき、左側の装置構成イメージ図も正しい画像に変更される。雨水活用装置のシステム構成の決定後、貯水タンク、屋根面積、配管延長・配管径、初期雨水排除量、初期雨水タンク容量および初

雨水活用装置の最適化を目的とした Web アプリケーションの開発

期雨水タンク排出孔の設定を行う。どの項目についても自由に値を決定することはできるが、どのような値を設定したらよいかわからない場合があるため、屋根面積については、各市区町村の平均値が初期値として予め入力されている。初期雨水タンク容量は、屋根面積と初期雨水排除量を乗じた値が初期値である。

雨水活用装置の仕様決定後、水使用パターンを設定する (Fig. 8)。水使用パターンは5種類まで設定することができ、水使用パターンを各項目ごとに1時間ごとの使用量として設定できる。なお、この水使用パターンについては、毎日、月別および曜日別についての設定も行える。水使用パターン入力支援として、統計データから得られた1人あたりのトイレ洗浄用水と洗濯用水の時間帯別水使用パターンが自動入力できるボタンも備えている。また、使用人数については、選択した市区町村の平均的な1世帯あたり人員数が初期値として入力されている。

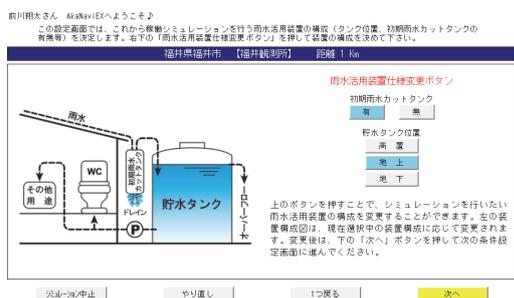


Fig. 7 Settings display of rainwater harvesting system model.



Fig. 8 Setting display of water consumption for rainwater harvesting system operation simulation.

Web アプリケーションの結果表示画面を、Fig. 9 に示す。結果表示には、量的に判断できる体積換算モード (単位: m^3) と雨水の流出抑制効果の評価などで用いられる降水量換算モード (単位: mm) の2種類がある。シミュレーション結果については、10年間の年間平均値および月別平均値が表示される。月別平均値は、項目別に9つのグラフで表示しており、ボタンで切り替えができる。また、「装置の診断テスト」よりシミュレーションを行った設定条件を基に、最適な貯水タンク容量と集水面積が表示される機能も備えている (Fig. 10)。



Fig. 9 Result display of rainwater harvesting system operation simulation.



Fig. 10 Diagnosis test display of rainwater harvesting system.

4. まとめ

本研究では、雨水活用装置の最適化を目的に Web アプリケーションの開発を行った。この Web アプリケーションでは、雨水活用装置の構成や仕様を指定し、稼働効率を算出できる。これにより、地域の降水特性や水使用パターンを考慮した雨水活用装置の設計を行うことができる。また、最小 2 乗法により最適な貯水タンク容量と屋根面積を算出し、シミュレーション設定条件と比較して最適化した装置を提案することができる。

この Web アプリケーションは、設定条件を詳細に指定できることから一般向きではなく、プロ向き用として考えられる。そのため、貯水タンクメーカーなどと勉強会を開催し、Web アプリケーションを使用していただける環境作りが必要である。

文 献

- (1) 国土交通省水管理・国土保全局水資源部，“国際的な水資源問題への対応”，http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/j_international/about/about001.html (参照日 2015 年 1 月 21 日)。
- (2) Rain Tank，“節水シミュレーション”，<http://www.raintank.info/simulation.html> (参照日 2015 年 1 月 22 日)。
- (3) 笠井利浩，前川翔太，“雨水活用装置総合評価 Web アプリケーション“AkaNavi”の開発”，第 8 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集，(2013)，pp.392-393。
- (4) 笠井利浩，前川翔太，“雨水活用評価用シミュレーションソフトの開発”，日本建築学会大会学術講演梗概集，(2013)，pp.579-580。
- (5) 前川翔太，笠井利浩，“雨水活用システムの総合評価を目的とした Web アプリの開発”，日本雨水資源化システム学会第 21 回研究発表会講演要旨集，(2013)，pp.77-80。
- (6) 統計局，“総務省統計局ホームページ”，<http://www.stat.go.jp/> (参照日 2014 年 11 月 10 日)。
- (7) 越川康夫，村川三郎，西田勝，“雨水利用システムにおける雨水利用効率と都市型洪水防止効果の検討：福岡市の戸建て住宅を事例として”，日本建築学会計画理論文報告集，No.452(1993)，pp.37-45。
- (8) 笠井利浩，“地域特性からみた一戸建住宅における雨水活用装置の環境負荷削減効果”，日本雨水資源化システム学会誌，Vol.18，No.1(2012)，pp.27-31。
- (9) 平成 18 年度水道統計業務・施設編，No.89-1(2006)，(社)日本水道協会。
- (10) 国立環境研究所，“産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)”。
- (11) 電気事業連合会，“電気事業における環境行動計画(2012 年)”。
- (12) 東京大学空間情報科学研究センター，“Geocoding Tools&Utilities”，<http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/> (参照日 2014 年 11 月 1 日)。
- (13) 上岡勇人，ひと目でわかる Microsoft Visual Basic 2010 アプリケーション開発入門，(2010)，377p.，日経 BP 社。
- (14) ファンテック(株)，ひと目でわかる Microsoft Visual Basic 2010 Web アプリケーション開発入門，(2010)，331p.，日経 BP 社。
- (15) 土井毅，広瀬嘉久，はじめての ASP.NET4 プログラミング Visual Basic 編，(2011)，578p.，(株)秀和システム。
- (16) 目時秀典，鈴木和久，基礎からの ASP.NET 改訂版，(2010)，523p.，ソフトバンククリエイティブ(株)。
- (17) Google，“Google Developers”，https://developers.google.com/chart/image/docs/gallery/chart_gall (参照日 2014 年 12 月 20 日)。

(平成 27 年 3 月 31 日受理)