減圧凍結法を用いた造型法による環境低負荷型鋳造システムの開発

Development of Casting System with Sand Mold Frozen under Evacuation for Better Environment

加藤　寛[1*]，永井　寛[2]，川村邦明[3]，神村　岳[3]
Hiroshi Kato[1], Yutaka Nagai[2], Kuniaki Kawamura[3] and Takeshi Kamimura[3]

[1] 埼玉大学　工学部機械工学科
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Saitama University
[2] 埼玉県工業技術センター（現，埼玉県産業技術総合センター）
Technical Laboratory of Saitama Prefecture (Present: Saitama Industrial Technology Center)
[3] 株式会社前川製作所
Maekawa MFG. Co., Ltd.

Abstract

A new casting process with sand molds frozen under evacuation was developed for better environment and for reduction of total production cost of casting products. This report presents experimental results carried out in Saitama University. The experiments were carried out for two terms: the mechanical testing and the ultrasonic measurement of castings products, and the ultrasonic measurement of frozen sand mold. The iron and aluminum alloy castings produced with frozen sand mold were subjected to the sound velocity measurement and to the Vickers hardness testing to compare with those produced with the current CO_2 process mold. The experimental results showed that the velocity and the hardness in the casting produced with the frozen sand mold showed the same properties as those of the castings produced with the CO_2 process mold, and these were in good agreement with structure observation of the castings. The sound velocity in the frozen sand was about 4000 m/s and was almost the same as that in ice.

1. 緒　言

本委託研究は，平成 14 年度及び 15 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業（減圧凍結法を用いた造型法による環境低負荷型鋳造システムの開発）の一環として実施された．当研究開発事業では，省エネルギー・環境低負荷型の鋳造システムの開発を目指し，減圧式凍結法を用いて凍結した砂型を製造する新しい鋳造技術を開発してきた．平成 14 年度 [1] には，減圧凍結法により製造された凍結鋳型を用いた鋳造方案の検証を行うために実証システムの設計製作と設備導入を行った．次いで，減圧式凍結法による砂型造型の最適化検討により得られた知見をもとに鋳造を実施し，水以外の粘結剤を使用することなく，製品重量 30 kg の鋳造品を製造した．その後，鋳造品の組織観察や機械的性質の測定を行い，凍結鋳型を用いて製造された鋳物は従来の CO_2 ガス型を用いて製造されたものと同等以上の性能を

* 〒338-8570　さいたま市桜区下大久保 255
電話：048-858-3444　FAX：048-856-2577
Email：hkato@mech.saitama-u.ac.jp

有することを示し，凍結鋳型鋳造法は適度な肉厚を有する鋳物に有効な鋳造法であることを検証した．更に，凍結した砂型の砂型強度や通気度等の特性の把握を行い，減圧式凍結法における最適化条件を求めた．

平成 15 年度 [2] には，鋳鉄の鋳造において得られた知見をもとに，本凍結鋳型鋳造法の市場展開・製品展開を活発に行うために，アルミニウム合金を中心とした非鉄金属材料への適用を検討した．すなわち，アルミニウム合金および銅合金の鋳物製品を製作し，非鉄金属材料における鋳造法案を確立するとともに，従来の CO_2 ガス型を用いて製造した鋳物と鋳造組織及び機械的性質に差異はなく，同等の性能を有していることを示した．また，鋳ぐるみなどを用いた製品でも従来法と変わらない性能を有することを実証し，これらの特殊な鋳造法へも凍結鋳型が適用可能であることを明らかにした．更に，実操業に準拠した凍結鋳型鋳造法の連続生産性の検証を行い，鋳物事業として成立するための連続的な生産方式を確立した．

平成 15 年の本委託研究では，凍結鋳型を用いて製造した試験片並びに鋳造品の硬さ及び超音波速度を従来の CO_2 鋳型を用いて製造したそれらと比較検討を行い，両者が同等の性能を有することを示すとともに，凍結させた砂型の特性評価を実施した．本報告では，本委託研究において得られた成果のうち，凍結砂型に関して得られた結果について示す．凍結砂型を用いる場合，その凍結状態は鋳物の品質に大きく影響することから，砂型の凍結状態を簡便に評価することが必要となる．そこで，簡便な検査法として超音波測定法を採用し，冷凍した砂型における超音波の伝播状況及び伝播速度の測定を行った．前者の測定により冷凍砂中の超音波の減衰状況が把握され，また，後者の測定により冷凍砂の弾性特性あるいは密度が評価される．

2. 実験方法

2.1 試験体の製作

砂型用の砂として生砂型として代表的な飯豊珪砂 6 号を用い，種々の割合で水を含有させて十分に混合させた．その後，円形断面を有する筒状の型に入れてつき固めた．なお，砂型の水分含有率は 4 wt%，10 wt%，15 wt%，16.7 wt%，18.3 wt%とした．次いで，型に入れた状態で冷凍庫に入れ，数時間放置して十分に凍らせた．この際，冷凍庫内はほぼ零下 15 °C に保持した．得られた砂型の形状を Fig. 1 (a) に示す．

対比材として，冷凍砂型の構成物質である氷，砂及び CO_2 自硬性型の超音波特性を調査した．氷試験体については，Fig. 1 (b)に示す形状の氷を冷凍庫中で製造した．また，砂試験体としては直接の対比物質が得られなかったので，SiO_2 を主要成分とするガラス板を用いた．厚さ 1.2～1.5 mm のガラスの薄板を機械油を介して重ね合わせ，Fig. 1 (c)に示すような直方体の形状として，超音波測定に供した．自硬性型については，Fig. 1 (d)に示すように厚さ約 15 mm の板状に試験体を製作し，その表面をエメリー紙#240 まで研磨して超音波測定に供した．

2.2 超音波測定

冷凍した試験体を冷凍庫から取り出し（ガラス試験体及び自硬性型の場合は室温で），接触法により超音波測定を行った．探触子には，発信周波数 5 MHz，2.25 MHz，1.0 MHz の探触子（直径，それぞれ，16.7 mm，12.7 mm，12.7 mm）を用いた．なお，発信周波数 5 MHz の場合，底面反射波が良好に観察されなかったので，ここでは 2.25 MHz 及び 1 MHz の測定結果を中心に示す．測定に際して，探触子と試験体との接触条件を以下に示すような種々の方法で試み，最適な条件を求めた．

(i) 接触媒質を用いず，直接探触子を試験体に接触させる方法（以後，直接接触法という）
(ii) 接触媒質としてシリコングリースを用いる方法
(iii) サランラップ用ポリエチレンフィルムを介し，機械油を接触媒質として用いる方法

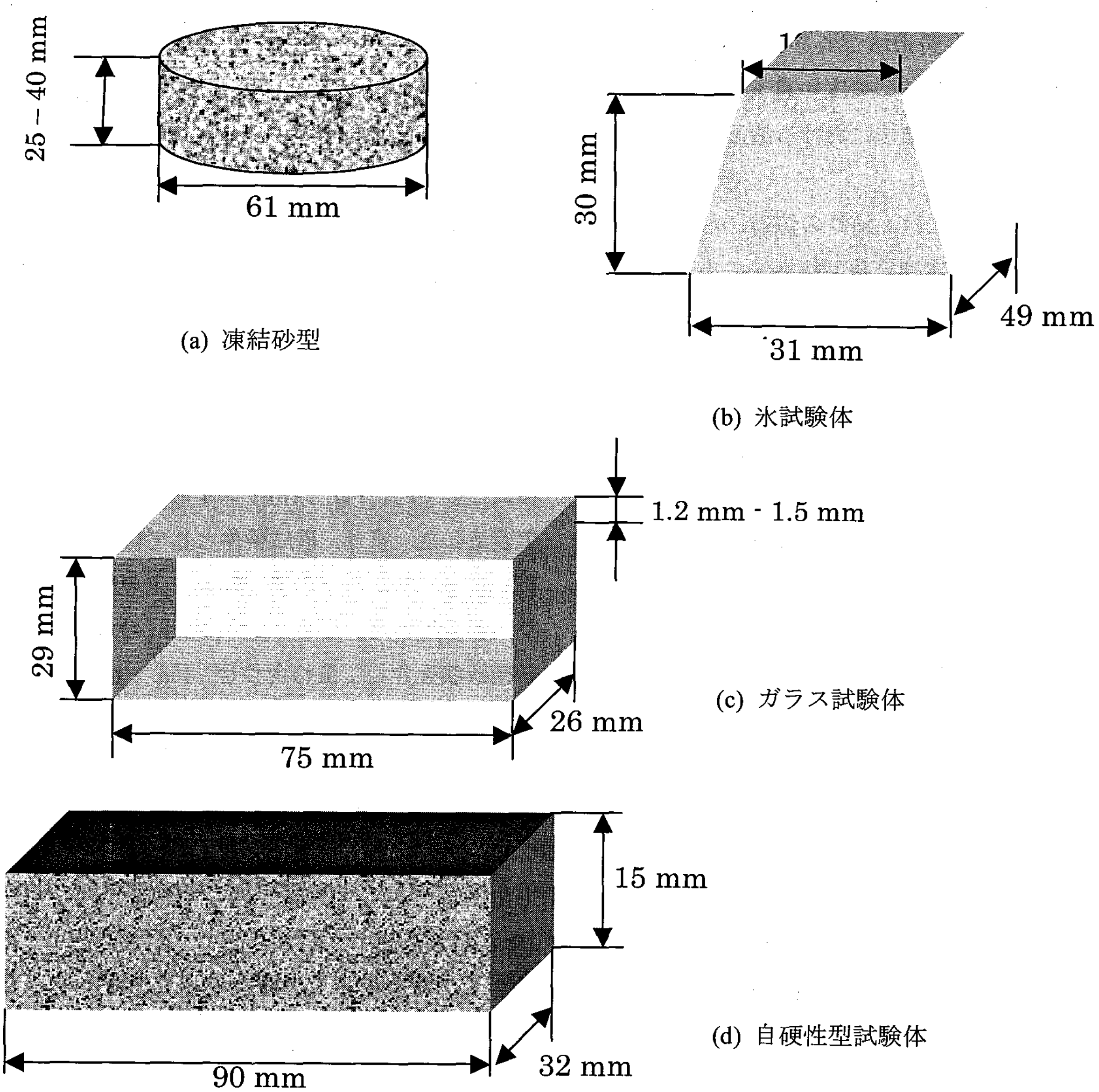

Fig. 1　各種試験体の形状及び寸法

(iv) 探触子を砂型に凍結結合させる方法（以後，凍結結合法という）

探触子を試験体に接触させ，試験体の表面から底面までの超音波波形を得た．超音波波形はデジタル記録計に記録し，その後，コンピュータによる解析を行った．すなわち，試験体表面から底面までの波形を観察し，次いで，表面から底面までの伝播時間及び試験体の厚さから，音速を求めた．

3. 測定結果

3.1 超音波波形に及ぼす試験体材質の影響

冷凍砂型において，まず，シリコングリースを接触媒質として直接接触法で超音波測定を行ったが，探触子と砂型は良好な接触を示さなかった．そこで，探触子を凍結砂型に凍結結合させて超音波測定を行った．測定された結果を Fig. 2 に示すが，発信周波数 1 MHz の場合，水分含有率 15 wt%以上で第 1 底面反射波が観察され，水分含有率の増加にしたが

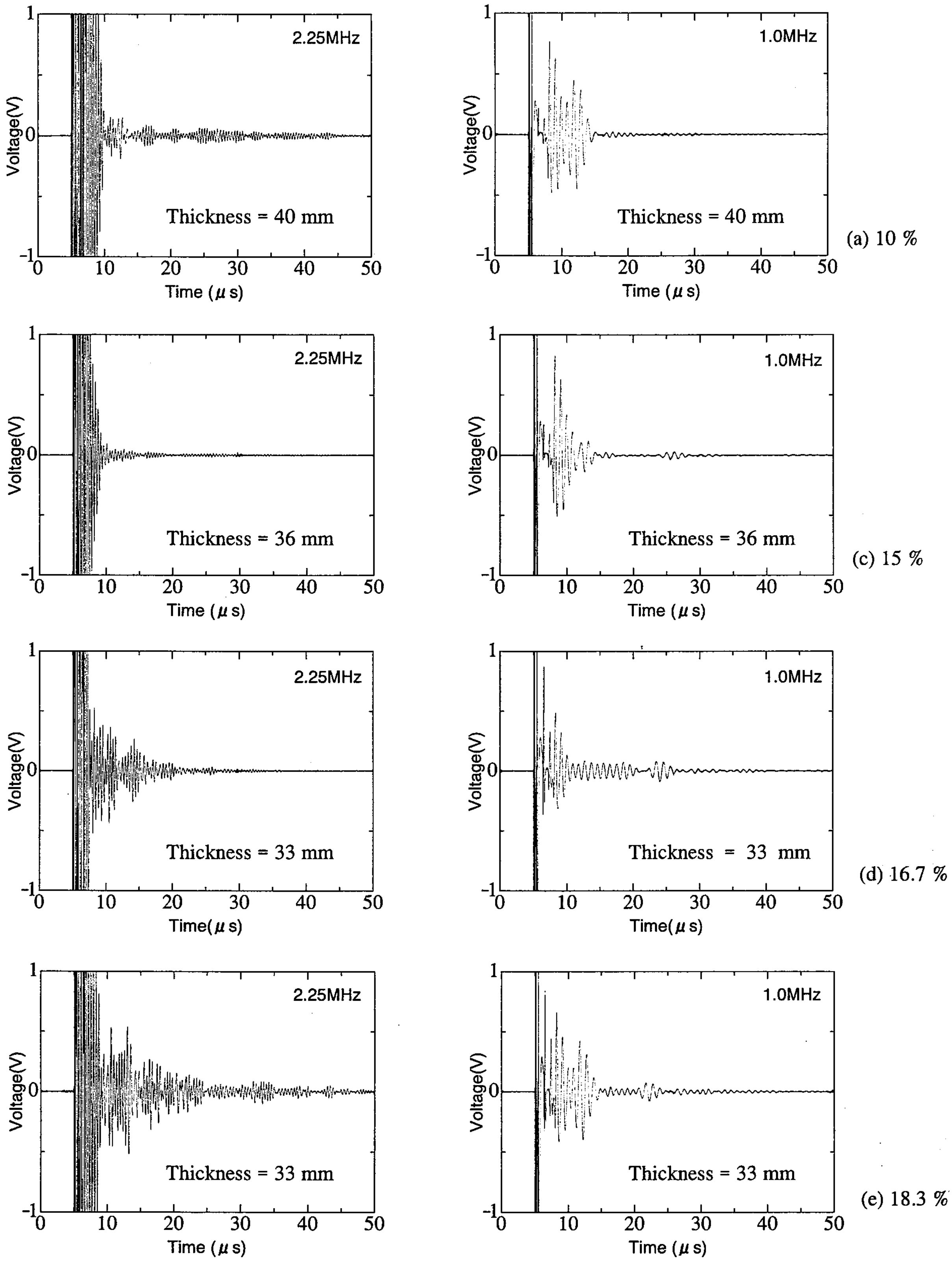

Fig. 2　冷凍砂型の超音波波形に及ぼす水分含有率の影響

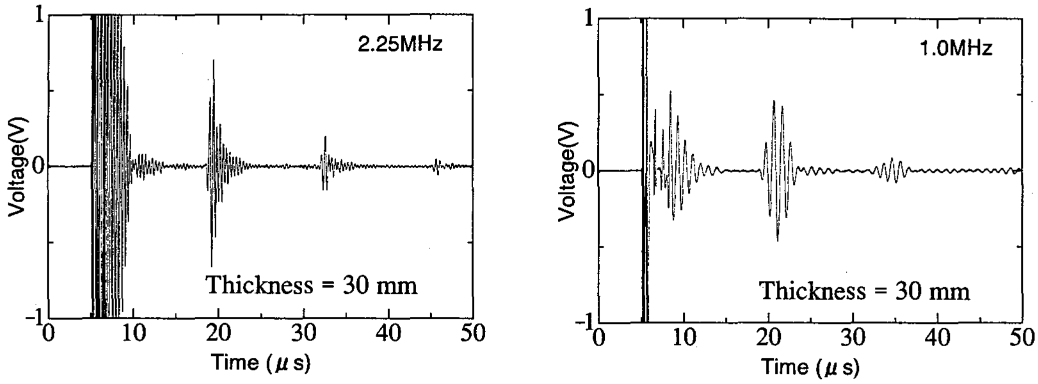

Fig. 3　凍結結合法により測定した氷の超音波波形

って底面反射波強さの増加していく傾向が見られた．これに対し，発信周波数 2.25 MHz ではいずれの水分量でも底面反射波は観察されなかった．

比較のために，氷試験体を用いて超音波測定を行った結果の一例を Fi.g 3 に示すが，探触子を試験片表面に冷凍結合させて超音波測定を行った場合，発信周波数 2.25 MHz，1.0 MHz ともに，第 1，第 2 及び第 3 底面反射波が観察された．底面までの伝播時間と試験体の厚さより，試験体，すなわち氷の音速として約 4200 m/s が得られ，従来の結果とほぼ等しい値となった．なお，今回は超音波の減衰を少なくするために，狭帯域の探触子を用いたために多くの波が観察され，音速の値を精密に決定することはできなかった．

次いで，ガラス試験体について，接触媒質に機械油を用い，室温（19 ℃）で超音波測定した．得られた超音波波形の例を Fig. 4 に示すが，発信周波数 1.0 MHz では第 1 及び第 2 底面反射波が得られた．得られた底面反射波より音速を求めた結果，5 回の平均として 4920 m/s の値が得られた．なお，発信周波数 2.25 MHz 及び 5 MHz では第 1 底面反射波が観察されたのみであった．

最後に，自硬性砂型において測定された超音波波形の例を Fig. 5 に示す．接触媒質としてシリコングリースを用い，室温（19 ℃）で測定された．図に示すように，発信周波数 1 MHz の場合，底面反射波が観察された．この反射波が第 1 反射波であるとし

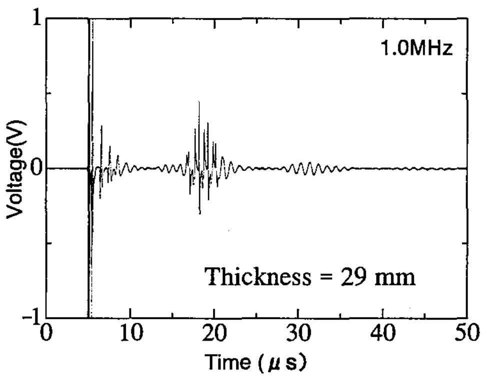

Fig. 4　接触媒質として機械油を用いて測定したガラスの超音波波形（周波数：1 MHz，測定温度：19 ℃）

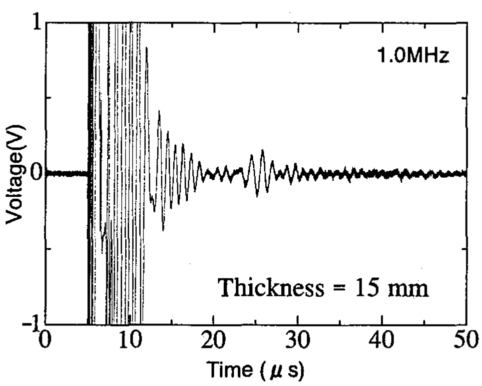

Fig. 5　接触媒質としてグリースを用いて測定した自硬性型の超音波波形（周波数：1 MHz，測定温度：19 ℃）

て音速を求めた結果，1430 m/s の値を得たが，この値は氷中の音速のみならず水中音速（約 1500 m/s）にも達していないことから，正しい値とは思われない．今後，更に低い発信周波数で測定する必要があろう．

3.2 音速に及ぼす水分含有率の影響

それぞれの水分含有率を有する冷凍砂型において，表面から底面までの超音波伝播時間及び試験体厚さより音速を求めた．結果の一覧を Table 1 に示す．また，これらの結果を Fig. 6 に図示するが，各水分含有率の凍結砂の音速は，ガラス板と氷の音速から予想された値に比べて低い値を示した．

凍結砂における音速が低い値を示したのは，凍結砂が砂と氷粒よりなる多孔質複合材料であったためと思われる．多孔質物質中を超音波が伝播する場合，伝播経路が屈曲する結果，一般の固体中を伝播する場合に比べて伝播時間を要する．すなわち，ガラス板及び氷中の伝播に比べて凍結砂中のほうが伝播時間を要し，結果として音速が低い値を示すことになる．もし砂の音速，及び氷粒の堆積した状態での音速が計測されれば，これらの音速は凍結砂の音速に近い値を示すことが期待される．

Table 1　音速に及ぼす水分含有率の影響

水分含有率　(wt%)	音速（m/s）
0　（ガラス板）	4920
15	3510
16.7	3880
18.3	4400
100　（氷）	4200

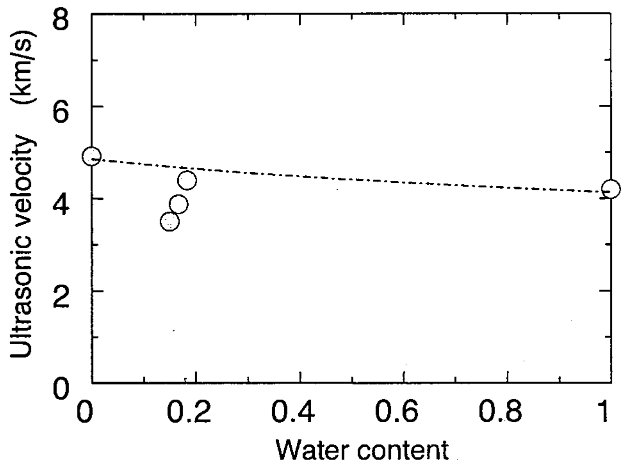

Fig. 6　音速に及ぼす凍結鋳型中の水分含有率の影響

参考文献

[1] 埼玉県中小企業振興公社: *平成１４年度地域新生コンソーシアム研究開発事業報告書*, (2003.3).

[2] 埼玉県中小企業振興公社: *平成15 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業報告書*, (2004.3).