

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560514

研究課題名（和文）リアス式湾の湾奥部における津波減災のためのレゾネータに関する研究

研究課題名（英文）A TSUNAMI RESONATOR FOR REDUCTION OF FLOOD DAMAGE ALONG INNER BAY OF RIA COAST

## 研究代表者

中村 孝幸（NAKAMURA TAKAYUKI）

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：60108404

研究成果の概要（和文）：本研究は、三陸地方に代表されるような津波が来襲すると壊滅的な被害を受けやすい、彎曲した湾やリアス式海岸の湾奥部を対象にして、突堤形式の防波堤を二重に配置したレゾネータ（波浪共振装置）型やそれから派生したより簡単な構造の津波防御施設を湾口付近に設けることで、湾内の津波高さを減じ、浸水災害を軽減できるようにしたものである。この際、従来の突堤形式単独の津波防波堤では、津波低減効果が十分でないことや、改善工法として上記した新規防波堤構造が有効であることなどを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In order to prevent or minimize the tsunami disaster in a ria bay, typically Sanriku District, effective layout of tsunami breakwaters at the mouth of ria bay has been extensively studied. The concept of a water wave resonator for reducing incoming tsunamis is introduced. The new type of wave resonator has also been adopted to reduce tsunami heights at the inner coast of a ria bay as compared to the effectiveness of a traditional tsunami breakwater.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：海岸工学

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 従来の突堤形式の津波防波堤とその欠点

津波は、彎曲した長い形状の湾やリアス式海岸に特徴的なV字型形状の湾内で増幅されやすいことや、人口密集地の多い湾奥部において大きな津波高が出現しやすいことなどが知られている。このため、湾奥での津波による浸水災害の軽減を目的として、既に湾

口に津波防波堤が建設された例や建設途中にあるものなどがある。しかし、従来の津波防波堤は、湾口部を直線的に遮断して、船舶の出入の便宜のため、その中央部に開口部を有する突堤形式の構造となっている。そして、従来の研究により、このような突堤形式の津波防波堤では、揺り返し周期が5分から30分にもなる超長周期波の津波を遮蔽する効果が十分でないことなどが報告されてい

る。また湾口部では水深も深く、堤体の建設コストが膨大になりやすく、津波防波堤の整備が進まない要因にもなっていた。

## (2)新規構造の津波防波堤の開発の必要性

このような背景から、従来の突堤形式の津波防波堤に代わるものとして、津波に対する制御効果を改善できる新規構造の津波防波堤の開発が必要とされていた。本研究では、新規構造の津波防波堤として、湾内に二組の突堤を建設することで構成されるコの字型水域を設けるレゾネータ（波浪共振装置）と呼ばれる津波防御施設やそれから派生したより簡単な構造の津波防御施設を提案して、その開発を進めた。

本研究の初期段階において、東日本大震災が発生し、特に大津波に遭遇した三陸地方のリアス式湾では未曾有の浸水災害を受けた。このことを研究の付加的な背景として、各湾形状に特有な湾水振動特性やその共振波面モードの把握およびこれらの特性を踏まえた津波防波堤の在り方についても明らかにすべき研究課題と考えた。

## 2. 研究の目的

本研究は、津波が来襲すると壊滅的な被害を受けやすい、彎曲した湾やリアス式海岸の湾奥部を対象にして、レゾネータ（波浪共振装置）型の津波防御施設を湾口あるいは湾央付近に設けることで、湾内の津波高さを減じて、浸水災害の軽減を図ろうとするものである。

ここで提案するレゾネータ（波浪共振装置）型の津波防御施設は、細長い湾地形をレゾネータの側方壁として利用し、湾側面から向かい合うように突出する2基の突堤を一組として、これを湾内に二組設置することで矩形の共振水域を構築する方式である。

また、経済的な津波防御施設の建設を可能にするため、レゾネータ型防御施設の平面形状を単純化した、L字型堤体の防波施設の開発やV字型の水深変化を取り入れた津波防御施設の新規開発なども進める。

申請時の目的として設定していなかった事項として、三陸海岸に代表される大船渡湾など現地リアス式湾を想定した新規構造の津波防波堤の効果の検討が挙げられる。これは、本研究の遂行中の2011年3月11日に発生した、太平洋沖三陸地震津波による三陸海岸に点在するリアス式湾での甚大なる津波災害の発生があり、この津波に対するリアス式湾での津波の増幅現象と津波防波堤による制御効果について、各湾の形状特性を踏まえて明らかにするものである。

## 3. 研究の方法

### (1)2010年度の研究内容及び方法

主に湾内に設ける突堤形式の大型レゾネータの設計とその効果の検証を中心にして検討を進めた。想定した共振装置型の津波防御施設の基本形状は、湾側面から向かい合うように突出する2基の突堤を一組として、これを湾内に二組設置することで矩形の共振水域を構築するようにした。

初期目標として、津波の揺り返し周期が20分程度までを対象にして、従来からの波浪フィルター理論を用いて矩形共振装置の設計を行い、必要となる矩形共振水域の寸法などを設定した。このとき、想定した湾水域のモデルは、細長い湾地形で南海地震津波による甚大な被災が観測されている須崎湾とした。そして比較のため、現況の一重突堤形式の津波防波堤をモデル化したものについても検討を行った。

一方、遠地津波のように揺り返し周期が40分程度と更に長周期の津波に対しても遮断効果が発揮できる共振装置の平面形状を見出すため、各種の平面形状の共振装置を用いたときの遮蔽効果についても詳細に検討した。これは、矩形共振装置でも、特に長周期側での遮蔽効果が不十分になりやすいことから、従来の矩形共振装置の矩形水域を一部囲むように平行堤を付加する新型の共振装置などの新規提案を行い、超長周期波に対する効果などを理論的な数値計算法に基づき検討した。

### (2)2011年度の研究内容及び方法

前年度の研究で30分を超える超長周期の津波の制御に有効であることが見出された、二重突堤形式の矩形共振装置を改良した新型共振装置の有効性を理論と実験に基づき詳細に検討した。具体的には、新規に付加した平行堤の長さの影響や湾中央部が最深部に相当するようなV字型の水深地形に対する有効性などを明らかにした。

このような新型共振装置の基本的な性能に関する検討に引き続き、現地リアス式湾を想定した新型共振装置の有効性をリアス式湾の平面形状と水深変化の両者を考慮に入れて数値実験に基づき検討した。想定した現地は、リアス式湾の代表例である高知県須崎湾と岩手県大船渡湾とした。検討では従来の一重突堤形式、矩形共振装置型、新型共振装置型の3種類の湾口防波堤を対象にして、5分から1時間までの範囲の周期の津波を対象にして各構造の津波防波堤の有効性や総合比較を行った。この際、各湾形状に特有な湾水振動の共振周期やその波面モードなどについても検討を行い、津波防波堤の設置位置の影響などについても検討した。

(3)2012年度の研究内容及び方法

東北太平洋地震津波により大きな被害を受けた大船渡湾を対象にして、昨年度までに開発を進めてきた津波レゾネータの有効性を明らかにした。特に、先の大津波により倒壊した突堤形式の津波防波堤を比較のための基本構造とし、さらなる湾奥津波高さの低減が可能となるように、レゾネータ形式の防波堤配置や開口部潜堤(捨石マウンドを含む)の影響に着目して、より効果的な開口部3次元形状の在り方について数値実験と水理実験に基づき明らかにした。この際、湾の湾水振動特性や陸域境界の反射特性の影響などについても併せて検討した。

数値実験では、大船渡湾の海底地形や陸域境界をなるべく詳細にモデル化して、今回の津波を参照して5分から1時間の津波周期を対象にして湾奥における津波高さの増幅特性などを明らかにした。この際、津波防波堤としては、これまでの研究成果により、津波などの長周期波に対する制御効果に優れる、レゾネータ形式防波堤の範疇に属する矩形水域堤やそれを簡素化したL型堤などを採用した。このとき、開口部潜堤の有無およびその規模にも着目して湾奥津波高さの低減効果について検討を行い、従来の突堤形式による効果を含めて、より高い遮蔽効果が期待できる防波堤開口部の3次元的な構造を明らかにした。

4. 研究成果

(1)新型共振装置型防波堤などによる長周期波(津波)の制御効果

2010、2011年度に実施した研究の成果に相当する。ここでは、従来型の矩形共振装置の長周期側における制御効果を改善することを目的として、図-1に示すように装置の港内側の開口部付近に平行堤と呼ぶ新たな直立堤を設けることを提案した。これは、図中に示すように装置内の港内側の開口部に重複波の腹が形成されるのを防ぎ、理想的には節が形成されるための方策として採用したものである。ここでは、特にこの平行堤による波浪遮断効果を鉛直線グリーン関数法に基づく理論解析と水理模型実験の両面から検討を行い、より効果的な共振装置の平面形状について明らかにした。このとき、比較のため、図-2中に示す矩形共振装置型堤体や突堤形式の堤体についても対象とした。

図-3、4は、共振装置の縦横比=1:3.5と1:4.5の条件下における透過波高の水路横断方向におけるRMS値と入射波高の比、 $K_t \text{ rms}$ を現地換算周期による変化で示す。これらの図より、平行堤を設けることで、想定した周期帯の中間領域(100~200s)で典型的に見ら

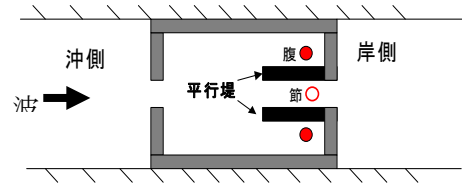


図-1 新型共振装置の概要

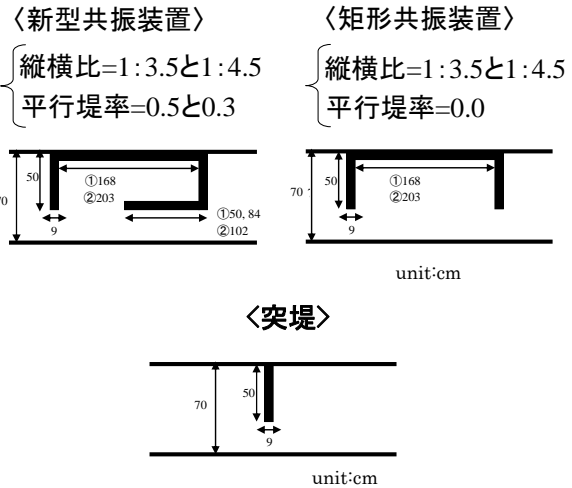


図-2 実験に用いた模型堤体(縮尺 S=1/443)

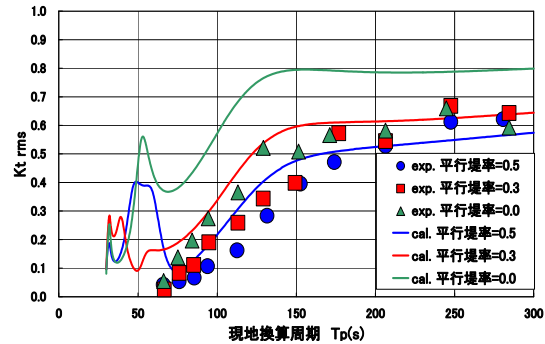


図-3 平行堤による透過波の低減効果(縦横比=1:3.5)

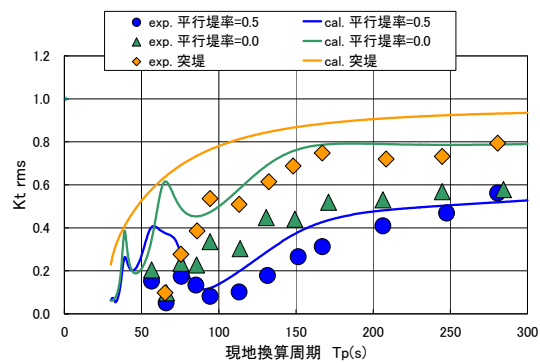


図-4 各堤体による透過波の低減効果(縦横比=1:4.5)

れるように、共振装置による遮蔽効果が向上することが分かる。そして、長周期側での遮蔽効果は、装置の縦横比を1:4.5と大きくすることで顕著になることも確認できる。一方、湾口防波堤などで用いられている突堤形式の防波堤では、図-4に見られるように、その遮蔽効果は十分でないことなどが判明した。

(2) 大船渡湾の湾水振動特性と新型津波防波堤の効果

ここでは、様々な揺り返し周期を持つ津波に対して、リアス式湾の代表例として大船渡湾を対象にして、湾奥津波高さを効果的に低減できる津波防波堤の平面的な配置法を新たに提案すると共にその有効性を数値実験により明らかにした。このときに用いた算定モデルを図-5に示す。

図-6は、検討に用いた新型共振装置を含む計3つの津波防波堤の配置モデルを示す。これらは、2組の突堤形式の堤体からなる矩形共振装置モデル（矩形型）、2組の突堤形式の堤体に平行堤を付加した新型共振装置モデル（新型モデル）、新型モデルの沖側の突堤を除去して平面構造を簡素化したL型モデルに相当する。数値計算では、これらの防波堤配置モデルに加えて、湾口部に防波堤がないときの原地形モデル、今回の大津波で破壊される前の突堤形式の防波堤の場合についても対象とした。

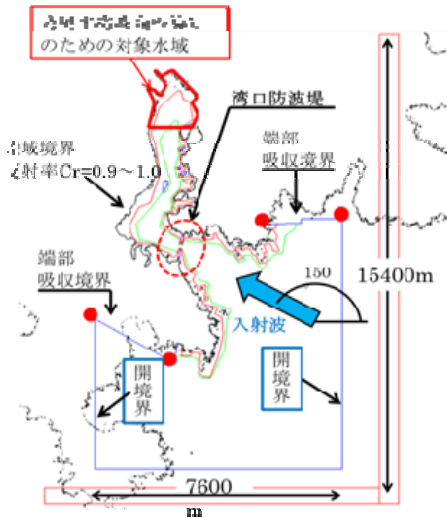


図-5 数値実験に用いた大船渡湾のモデル

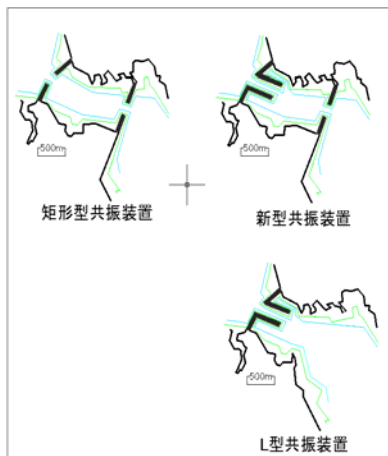


図-6 湾口部の各堤体配置モデル

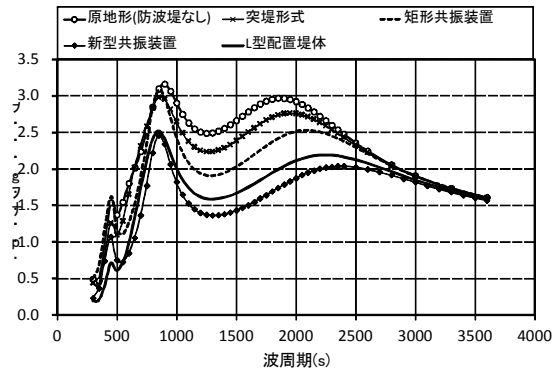


図-7 各種の堤体モデルによる波高増幅率の比較

図-7は、図-5中に示す大船渡湾の湾奥部を対象にして、各周期の津波が作用するときの波高増幅率を示す。この図より、新型共振装置を湾口防波堤として使用すると、防波堤のない原地形のときの波高増幅率を約3割程度低減できることがわかる。そして、現況の突堤形式防波堤の場合、1割程度の低減効果しか得られないことと比較すると、新型共振装置はかなり有効な堤体構造であると結論される。また、新型共振装置を簡素化したL型堤体においても、多少の増幅率の上昇は見られるものの、ほぼ新型共振装置と同程度の効果が期待できることが確認できる。

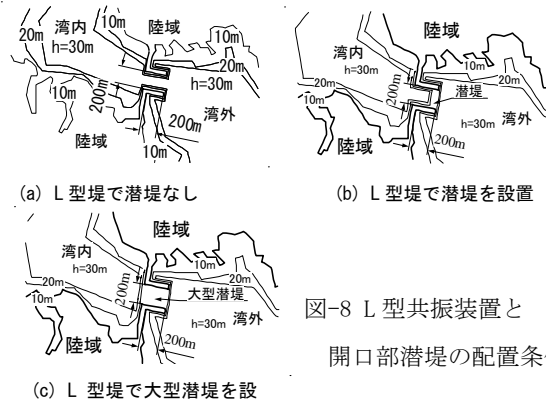


図-8 L型共振装置と開口部潜堤の配置条件

図-8は、津波などに対する制御効果に優れたL型堤を対象にして、開口部潜堤の有無およびその規模に着目した算定モデルについて示すもので、上記と同様に湾奥津波高さを低減効果について検討した。開口部に潜堤を導入したのは、現況の津波防波堤において実際に設置されていることによる。

図-9は、この結果を示すもので、原地形、突堤形式防波堤、L型堤の3種類の開口部形状について、潜堤の有無の条件下での湾奥部波高増幅率の比較を示す。L型堤では、図-8に示す潜堤の規模を大型にするときの結果についても示す。この図より、湾口部に防波堤を設けると、第1次共振周期は、長周期側に移行することや、この傾向はL型堤でその開口部に潜堤を設けるとより顕著になるこ



とが分かる。また、L型防波堤として、その開口部に潜堤を設けると、第2次共振点より長周期側において湾奥部波高増幅率をほぼ半減でき、今回の大津波のような長周期の津波に対して非常に効果的であることが認められる。そして、この度合は潜堤の規模にあまり影響されず、単にL型防波堤の沖側端にのみ潜堤を付加するだけでよいことなども確認される。

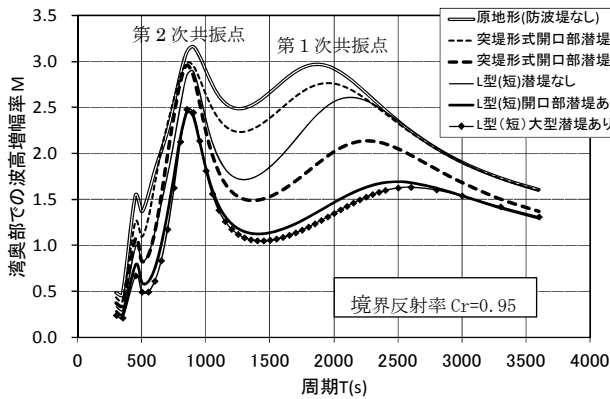


図-9 各種のL型堤を設けたときの湾奥部波高増幅率の比較：突堤形式防波堤および原地形の結果との比較

### (3) 湾水振動特性を考慮した津波防波堤の配置の重要性

図-10、11は、今回の大津波で崩壊する前の開口部潜堤付き突堤形式防波堤があるとき大船渡湾内における波高増幅率の平面分布を示す。図-10、11は、それぞれ図-9に示す第1次共振点および第2次共振点に対応する結果を示す。図-9に見られるように、開口部潜堤付き突堤形式防波堤による湾奥津波高さの低減率は、原地形の場合に比較して、第1次共振点では30%減であるのに対して、第2次共振点では5%減と防波堤建設の効果がほとんど認められない。これは、第2次共振点では、湾口部付近に重複波の腹が形成される条件に相当しており、このとき鉛直方向への波動運動が卓越するため、堤体の設置効果が現われにくいことによる。一方、第1次共振点では、湾口部付近に節が形成される条件であり、水平方向への波動運動が卓越するため、防波堤の設置効果が現われやすいことによるものと考えられる。

このように、リアス式湾における湾奥津波高さの低減対策を実施するには、対象とする湾の共振特性を各種の周期に対して事前に明確にしておく必要があり、対応する波面モード等を勘案して津波防波堤の設置位置や平面配置形状などを決定することが望ましい。このような知見は、今後の三陸沿岸域の復旧・復興対策に是非活かしていただくように提言していきたい。

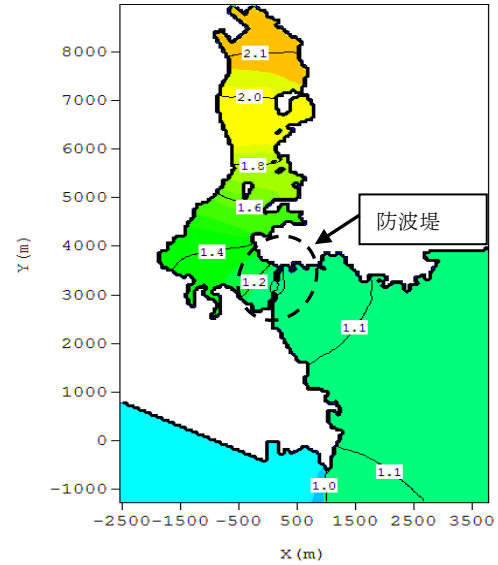


図-10 突堤形式防波堤での波高増幅率の分布 (第1次共振点  $T=2250s$ ,  $Cr=0.95$ , 開口部潜堤あり)

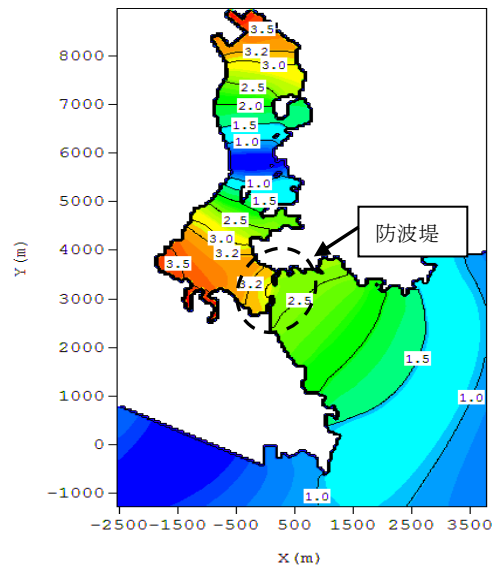


図-11 突堤形式防波堤での波高増幅率の分布 (第2次共振点  $T=850s$ ,  $Cr=0.95$ , 開口部潜堤あり)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① 中村孝幸: 新型津波防波堤の須崎湾における効果、ながれ、第31巻、pp. 31-38、2013(査読有り)。
- ② 中村孝幸、山先達也: リアス式湾における津波防波堤の効果的な配置法に関する研究、土木学会論文集 B3(海洋開発)、Vol. 68/No. 2、pp. I\_258-I\_263、2012(査読有り)。

- ③ Nyein Zin Latt and Takayuki Nakamura: A newly developed resonator to attenuate very long waves, Proc. of Coastal structures' 2011, ASCE, 2011 (査読有り, in press).
- ④ Nyein Zin Latt and Takayuki Nakamura: Effectiveness of a Newly Developed Resonator against Tsunamis, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 67/No2, pp. I\_637- I\_642, 2011(査読有り).
- ⑤ 中村孝幸, Nyein Zin LATT, 東和希: 超長周期波の制御のための新型共振装置に関する実験的検証、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol. 66/No. 1、 pp. I\_816-I\_820、2010(査読有り).
- ⑥ Takayuki Nakamura and Nyein Zin Latt: Development of a new resonator with additional walls to attenuate very long waves, 海洋開発論文集, Vol. 26, pp. 855- 860, 2010(査読有り).

[学会発表] (計 2 件)

- ① 中村孝幸: 大船渡湾の湾水振動特性と湾口津波防波堤の効果的な配置法について、土木学会四国支部、21 世紀の南海地震と防災、2013 年 1 月 27 日、高松サポート合同庁舎.
- ② 中村孝幸: 須崎湾における津波防波堤の効果的な配置法に関する研究、土木学会四国支部、平成 24 年自然災害フォーラム、2012 年 3 月 21 日、高松サポート合同庁舎.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中村 孝幸 (NAKAMURA TAKAYUKI)  
愛媛大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号: 60108404