

瓦類ワーキング部会の検討状況

令和5年3月

沖縄県

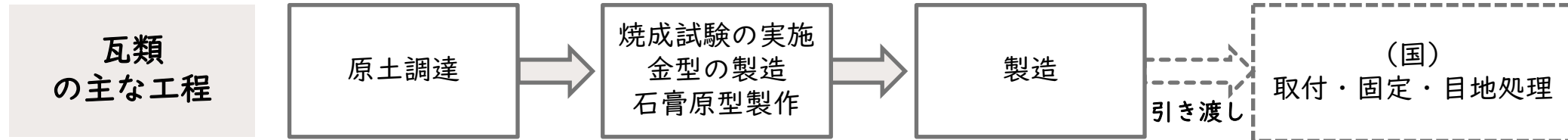


1. 瓦類WG部会での検討事項

■分野別の課題の整理（瓦類）

（1）瓦類WGの対象物と主な製造工程

- 瓦類WGの対象物は、赤瓦、雲型飾瓦（宝珠含む）、磚の3項目である。



（2）瓦類分野の課題及びWGでの主な検討事項

- 瓦類については、県工業技術センターを中心に、材料調達、正殿破損瓦のシャモット化による再利用、焼成試験などを進めている。
- 瓦類WGでは、次のような課題を踏まえて、製品ごとに制作方針の決定や制作にかかる監修を行うものとする。

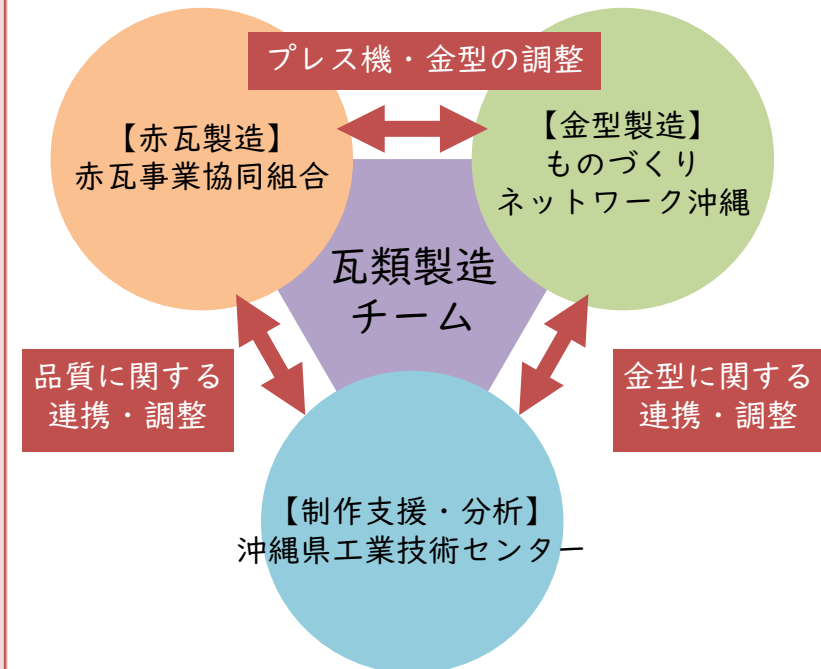
①赤瓦製造の検討

- 首里城正殿の屋根に葺かれる赤瓦については、次の検討が重要である。
 - 焼成試験の実施による原土配合率、焼成温度、色味、吸水率、強度などの許容範囲検討
 - 赤瓦の原型（金型）の形状検討と製造（収縮率を踏まえる）
 - 新たな知見により軒先瓦の瓦当文様が変更となることを踏まえ、石膏原型による瓦当文様の形状の検討
- 上記の課題をWGで検討しつつ、右図に示す【瓦類製造チーム】で連携・調整し課題解決に向かう。

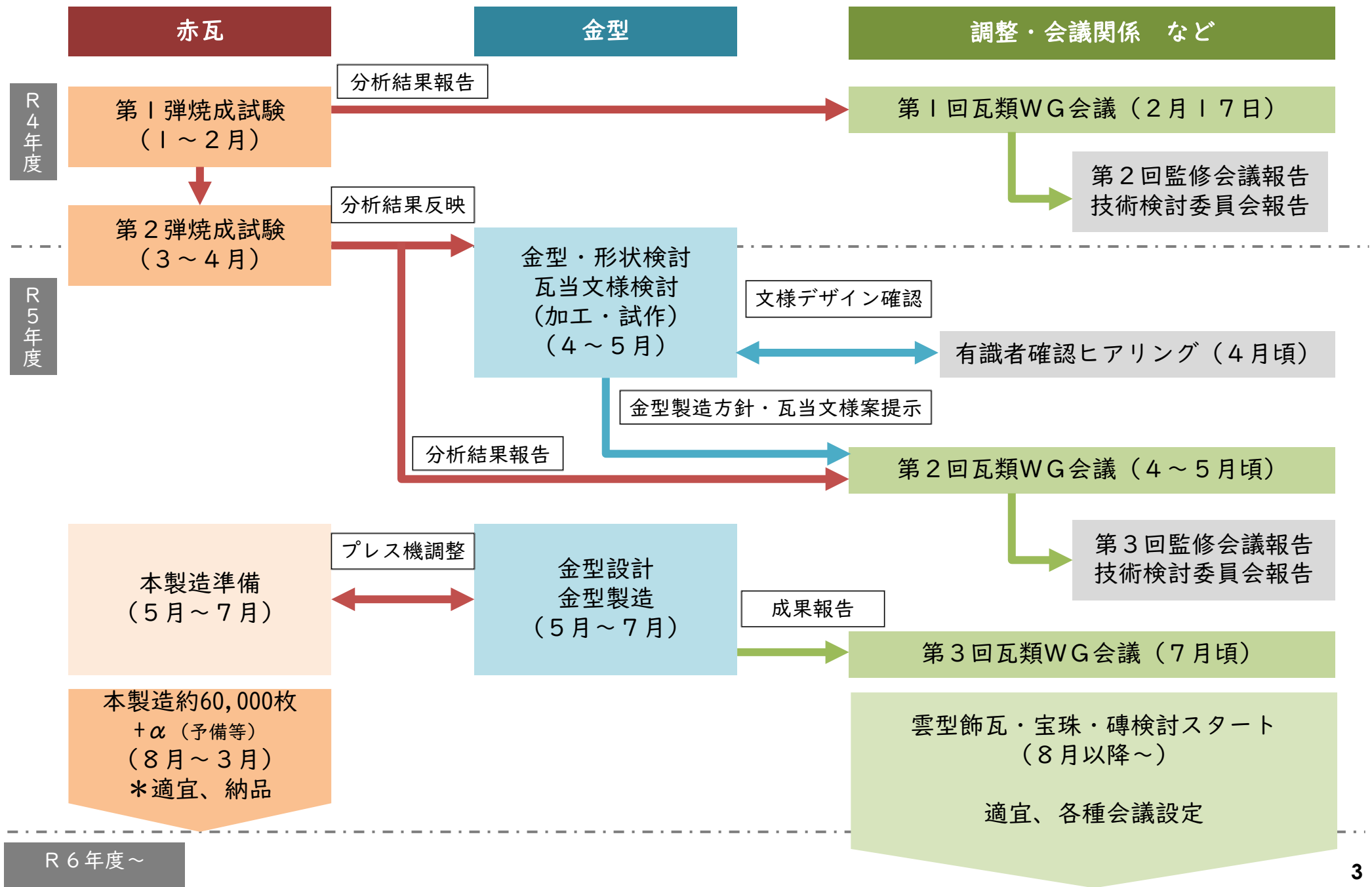
* 赤瓦製造の検討スキームは3頁参照

②雲型飾瓦（宝珠含む）・磚の検討

- 赤瓦製造を先行し、その成果を踏まえ令和5年度より検討。



2. 首里城赤瓦の製造・検討スキーム（案）



技術検討委員会（国）が示す赤瓦の品質基準 （令和3年度_第3回技術検討委員会資料より抜粋）

■ 今回復元における赤瓦の仕様

原土の配合比

- ・クチャと赤土の配合比については、7：3（うち石嶺クチャ3割）を基本とする。
- ・シャモット（瓦を粉碎したもの）の配合比については、5％を基本とする。

品質基準

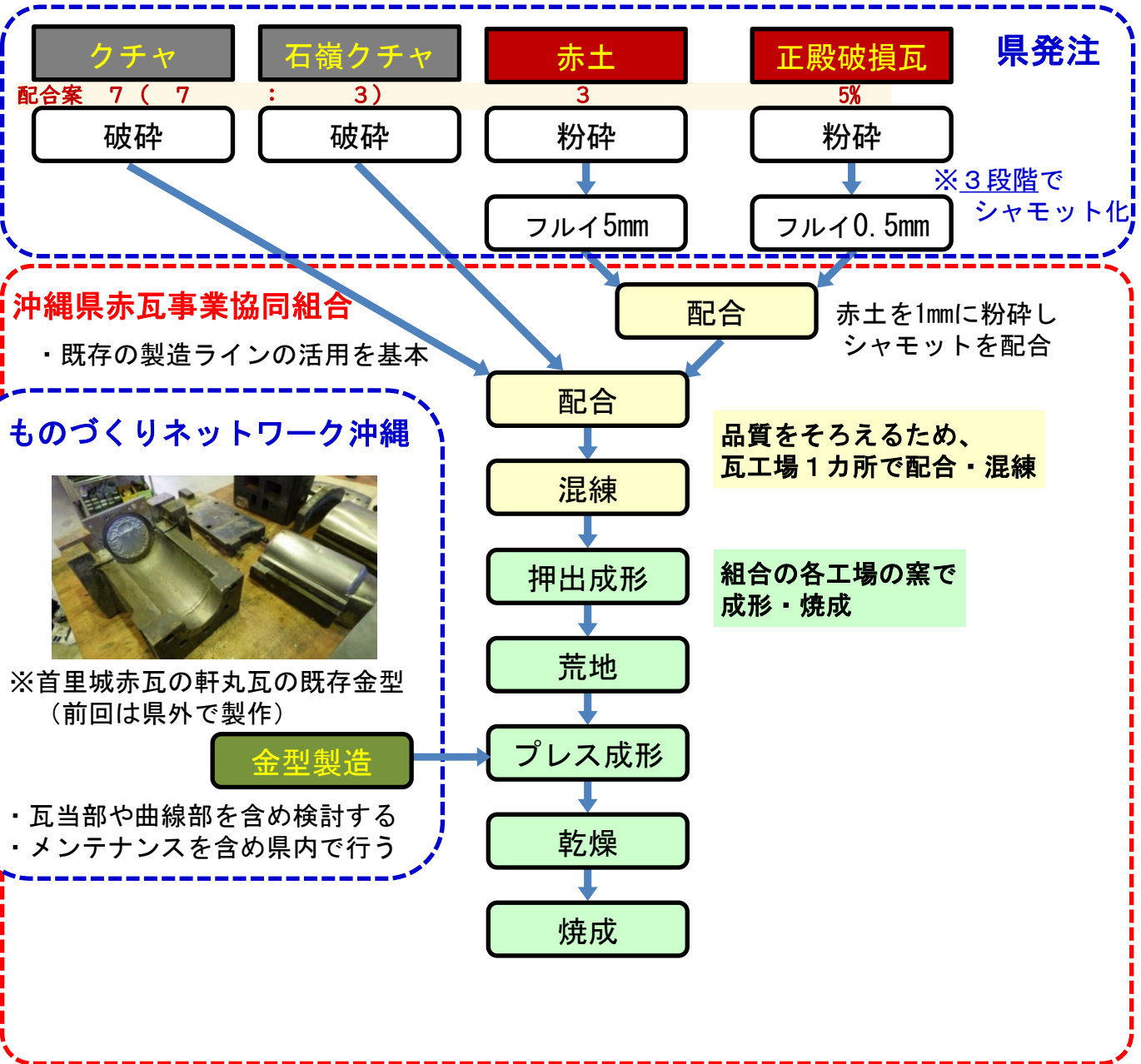
- ・吸水率 : 12％以下
- ・曲げ破壊荷重 : 2,000N以上
- ・透水性 : 24時間以内に水が裏面へ浸透しないこと
- ・色味 : 県内製造業者で製作した試作瓦の結果に基づき、工場毎の色むらの違いは許容範囲とする。

■ 今後の対応

沖縄県との連携のもと、以下のとおり取り組むこととする。

- 試作瓦の状況を踏まえ、収縮率を8％と想定して金型形状・寸法及び製作方法を検討する。
なお、金型の製作順序については、平瓦と丸瓦の金型を先に製作する予定。
- 令和4年度において、曲げ破壊試験や透水性試験の実施について検討する。
- 雲型飾瓦などの瓦について、型をどうすべきか今後検討する。
- 赤瓦原土（クチャ、赤土）の安定的確保に向け、原土調査を継続して実施するほか、具体の調達・保管管理方法についても引き続き検討する。

4. 赤瓦類製造イメージ



シャモット化工程 (18t)

1. ボランティアによる荒割り

国運営

正殿破損瓦 (5cm程度) → 2cm程度へ突き割り

2. 乾式粉碎 (2cm→2mm)

粉碎機へ投入 → 粉碎物の分別

粉碎後

3. 湿式粉碎 (2mm→0.5mm)

ミルでの湿式粉碎 → フィルタープレスで脱水

※シャモット化イメージ
右写真は土砂を原料

沖縄県工業技術センター

- 各窯での焼成状況の確認
- 吸水率、色味、収縮率、曲げ強度

<焼成試験の主な目的>

- 赤瓦本製造に向け、原土の配合比率、焼成温度、収縮率、吸水率、強度の妥当性の確認
- 収縮率を確認し、金型寸法の検討
- 各工場による製造能力の確認

<焼成試験における前提条件>

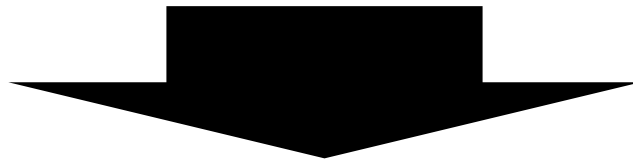
原土配合比率 <small>(ホイローダーのバケット配合回数)</small> <small>*バケット1回あたり0.9立米</small>	【比率】 赤土_3 クチャ(大里)3 クチャ(工場用)_2 クチャ(石嶺)_2 <small>(赤土_1.5回 クチャ(大里)_1.5回 クチャ(工場用)_1回 クチャ(石嶺)_1回)</small> 【シャモット】 原土配合量の5%
試験用原土運搬・配合場所	工場A
荒地整形・乾燥場所	工場A
焼成場所	工場A、工場B、工場C、沖縄工業技術センター
焼成温度(最高温度設定)	各工場_1,000度 工業技術センター_1,030度・1,060度(温度別焼成)
最高温度キープ時間	3時間
製造枚数	170枚(丸瓦85枚、平瓦85枚)_各工場:丸25枚、平25枚 センター:丸10枚、平10枚
焼成方法	各工場一般瓦焼成ロッドに混ぜて実施、窯内熱履歴計測
各種分析	沖縄工業技術センター

5-2. 第1弾焼成試験のとりまとめ

	工場A	工場B	工場C
熱履歴 (1,000度設定)	1,045度 (1,021~1,045度)	1,017度 (996~1,017度)	1,052度 (1,014~1,052度)
色味 (色むらは許容)	○(若干オレンジ)	○(若干オレンジ)	○(若干オレンジ)
収縮率 (8%程度)	平瓦:幅5.17% 長5.63% 丸瓦:幅5.53% 長6.08%	平瓦:幅5.16% 長5.22% 丸瓦:幅7.44% 長5.90%	平瓦:幅5.15% 長5.74% 丸瓦:幅5.97% 長6.27%
吸水性 (吸水率12%以下)	△	△ (全体平均は○) 一部12%超	△ (全体平均は○) 一部12%超
曲げ破壊荷重 (2,000N以上)	○	○	○
赤瓦品質	△(鉄粉多量)	△(鉄粉多量)	△(鉄粉多量)
所見 (全体評価)	<ul style="list-style-type: none"> 各工場ともに製造能力は良好である。 シャモットは、<u>製造工程と品質に影響がないことを確認したが、原料調達の関係から、配合量の減量(5%未満)の可能性もあり。</u> <u>瓦の色味は良好であるが、若干オレンジ気味である。(温度が高ければ濃くなる。)</u> <u>吸水率は12%を若干越え、許容範囲外となった。</u> <u>吸水率が高いため、赤瓦の焼締まりが小さくなった。(小さい収縮率となった。)</u> <u>配合・混錬段階において石嶺クチャに不純物(鉄粉)が多く含まれたため、試験製品の仕上がりに黒点、及び破裂痕が見られる。</u> <u>破裂痕が見られる瓦は製品として不適合と判断するが、黒点(鉄粉混在)をどの程度許容するか検討が必要。(国の技術検討委員会等どこまで許容するか。)</u> 		

課題

- 石嶺クチャに含まれる鉄粉及び鉄くずの除去が必要。（鉄くずの除去がうまくいかない場合は、石嶺クチャの配合率を減らすなどの再検討が必要。）
- 配合率が変更になる場合は、収縮率に影響するため、再度分析が必要。
- 吸水率が高いため、焼成温度を高めを設定する必要がある。なお、焼成温度を高めにするると、全体的に色調がもう少し濃く（赤茶色で）仕上がる。
- 鉄粉に作用して発生する黒点や破裂痕における許容範囲の明確化が必要。



試験方針

- 石嶺クチャに含まれる鉄粉・鉄くずを可能な限り除去するため、シャモット化工程の湿式粉碎(0.5mm化)を行う。
- 原土の配合率の変更を検討する。（石嶺クチャを減らすなど）
- 第2弾焼成試験では、配合率の変更、吸水率の確保に伴い、焼成温度は1,000度設定のままだが、高い熱履歴を観測した火口付近に配置し焼成する。

6. 金型製造の方針（素案）

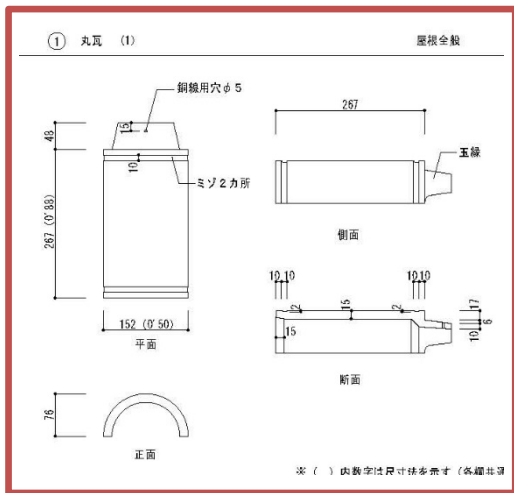
【方針】

- 18種類の赤瓦の型ごとに製造品質や工程、費用対効果を考慮し、金型を独立型・併用型かを検討し、製造する。
- 独立型は、製造枚数が大量のものを基本とする。
- 併用型は、型が似ていて、左右対称や一部変更（切落等）のみのものを基本とする。
- 金型の種類は、保管方法の適正を含めて、検討する。

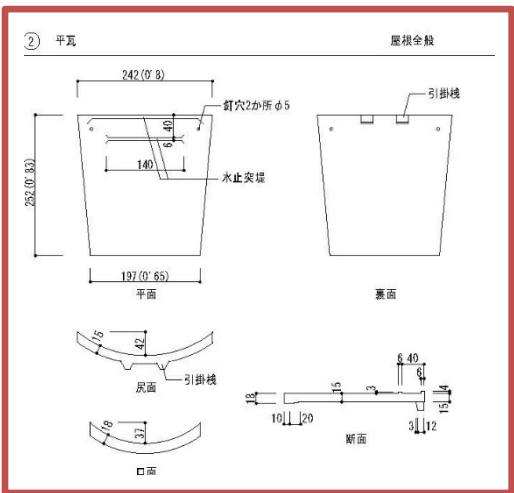
金型製造分担のイメージ

独立型

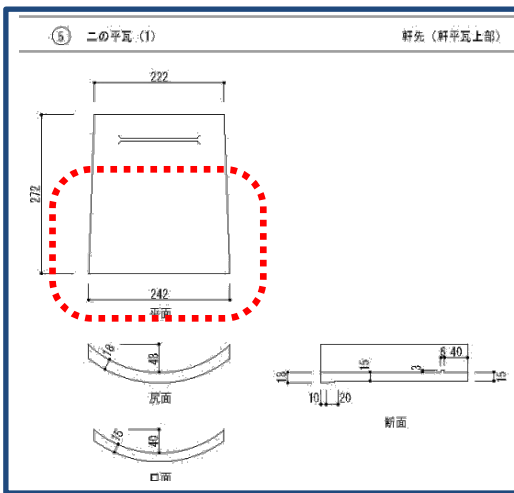
併用型



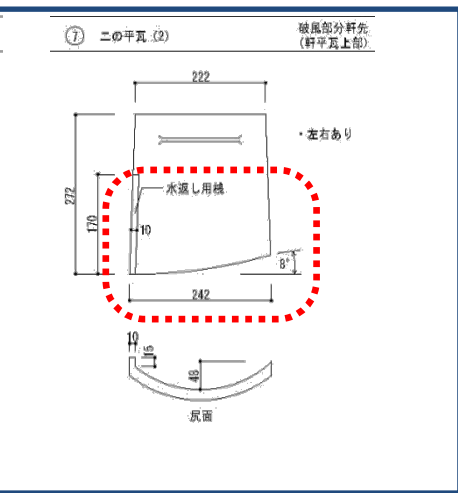
①丸瓦(1)14,900枚



②平瓦(1)38,200枚



⑤二の平瓦(1)757枚



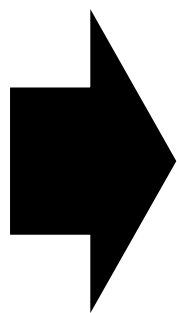
⑦二の平瓦(2)左右各70枚

7. 瓦当文様（細部デザイン）の確定について

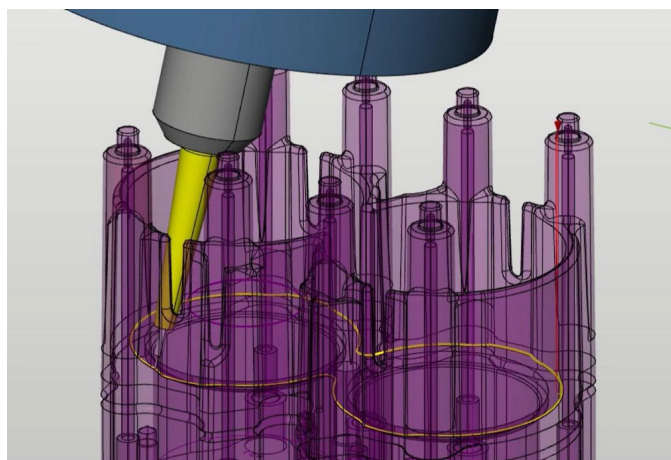
【論点】

- 新たな知見を踏まえて瓦当文様が変更となる。
- 埋蔵文化財センターに保存されている遺物（瓦当文様）の三次元スキャンを実施する。
- 瓦当文様を取り付く軒先瓦については、瓦当文様を含め金型（プレス整形）による加工を基本とする。
- 瓦当文様の加工については、デジタル若しくは手加工を検討するが、金型設計・製造の観点から、事務局としてはデジタル加工を候補としたい。
- 手加工とした場合、収縮率を考慮した石膏原型制作、金型への反映に課題がある。
- デジタル加工、手加工、いずれにしても有識者（国の技術検討委員会メンバー含む）へのヒアリング・アドバイスを踏まえて制作する。
- 第2回WGにおいて、試作案を複数提示し、瓦当文様の細部デザインを決定する。

今回復元の瓦当文様（遺物）



加工手法検討



デジタル加工のイメージ

写真：ものづくりネットワーク沖縄HPより



手加工のイメージ

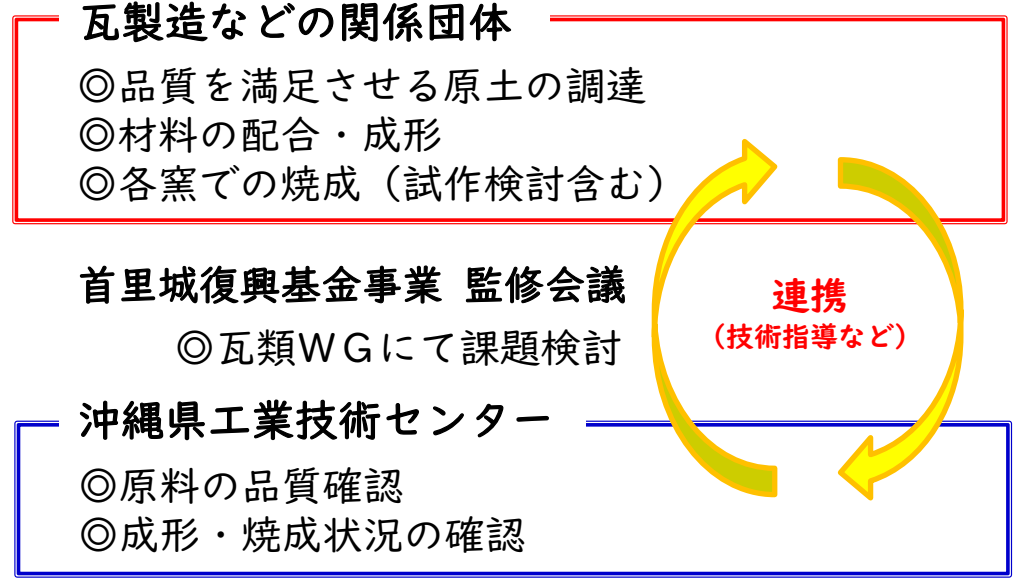
写真：薨技塾 徳樹瓦店HPより

8. 「磚」の調達スケジュール(案)

- ・ 磚の仕様（原土やその配合、吸水率、強度等）については、令和5年度に品質試験用の機材を購入し、既存磚との性能比較など行い、検討を進める。
- ・ 今回の復元では、県内にある技術を活用しての生産が可能ないように、県内の関係者と連携して取り組む。



首里城内の既存磚



令和4年度 (2022)				令和5年度 (2023)				令和6年度 (2024)				令和7年度 (2025)				令和8年度 (2026)			
12	1	2	3	4~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3
製造検討（試作、原土および製造品質の確認）								製造											
								原土調達、ねかし								設置			