



数値シミュレーションによる 粉末金型充填における吸引効果の影響



○吉田昂生¹ 森勇稀¹ 高畑和弥¹ 酒井幹夫^{2*}

1. 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻
2. 東京大学大学院工学系研究科レジリエンス工学研究センター

研究背景

・粉末成形

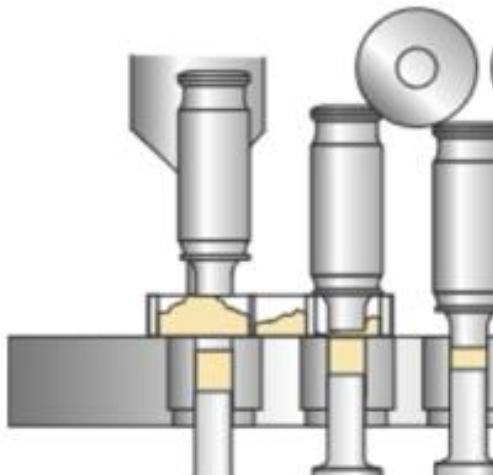
粉末を型に入れ圧縮することにより成形する技術。幅広い分野の製品に応用されている。



Tablet¹

・粉末金型充填

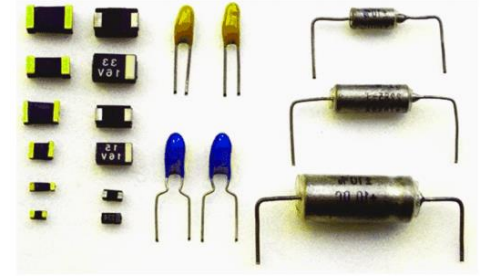
粉末の成形プロセスにおいて、金型を粉末で満たす工程。



Rotary Tablet Press Machine⁴



Metallurgy²



Capacitor³

・吸引効果

床部分に設置された下杵を降下させ粉末の充填を促進する効果。作用原理の解明が求められている。

先行研究

下杵と粉末の間に負圧が発生

下杵の降下によって下杵上部と粉末の間に隙間ができ、その領域に負圧が発生することが実験により明らかにされた。 [1] [2]

[1] S. Jackson, I.C. Sinka, A.C.F. Cocks, 2006

[2] C. -Y. Wu, Y. Guo, 2012



研究背景・目的

問題点

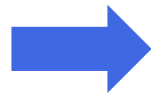
負圧の発生のみでは吸引効果の作用を説明できない

負圧の発生のみが吸引効果の作用ならば、下杵の降下速度が大きいほど充填効率は上昇する。しかし、これは実現象と矛盾する。より複雑な作用原理が存在している。

吸引効果の作用原理を明らかにするために、粉末及び空気の動きを分析する必要がある。

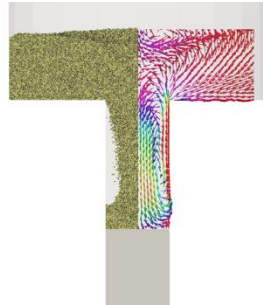
× 実験

- ・流動状態が観察しにくい
- ・作用する力がわからない



○ 数値シミュレーション

- ・位置によらず観察できる
- ・力の由来がわかる



本研究の目的

数値シミュレーションを用いて吸引効果の作用原理を明らかにする



解析条件

下杵の降下速度をパラメータとし
200, 300, ..., 700 mm/s の6ケースを比較

物性値

Gas Phase

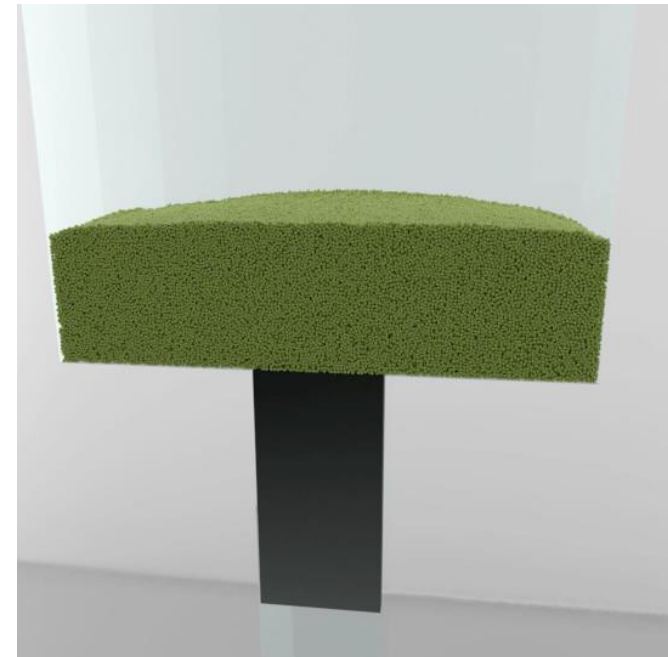
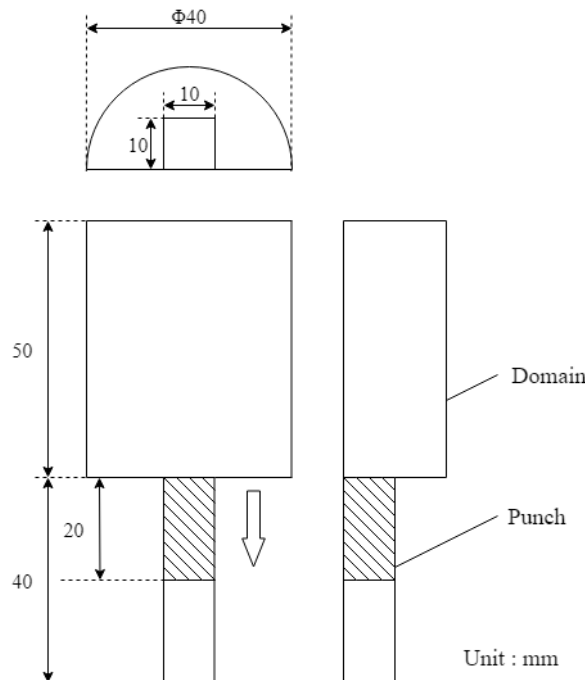
Viscosity	$1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
Density	1 kg/m^3

Solid Phase

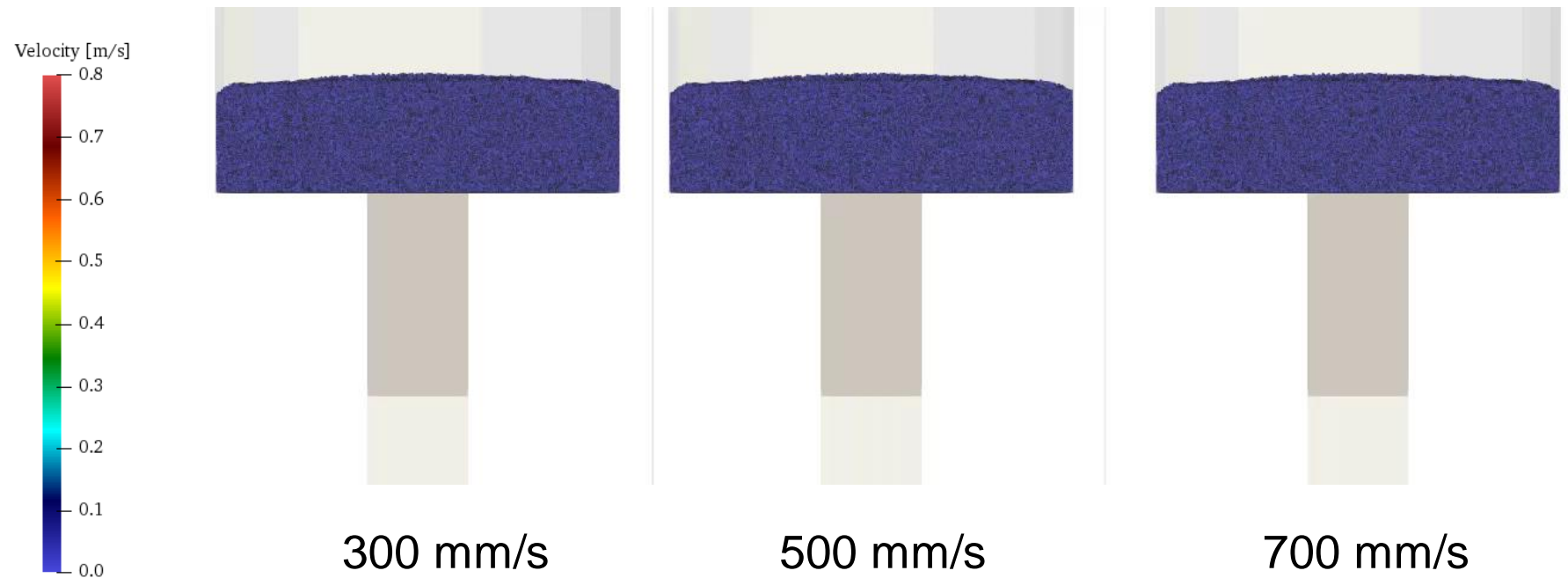
Density	1500 kg/m^3
Spring Constant	50 N/m
Coefficient of restitution	0.9
Coefficient of friction	0.3

計算条件

Diameter	$250 \text{ } \mu\text{m}$
Number of particles	500,000
System	Mono-dispersed
Grid size	0.5 mm
Calculation time	0.24 s

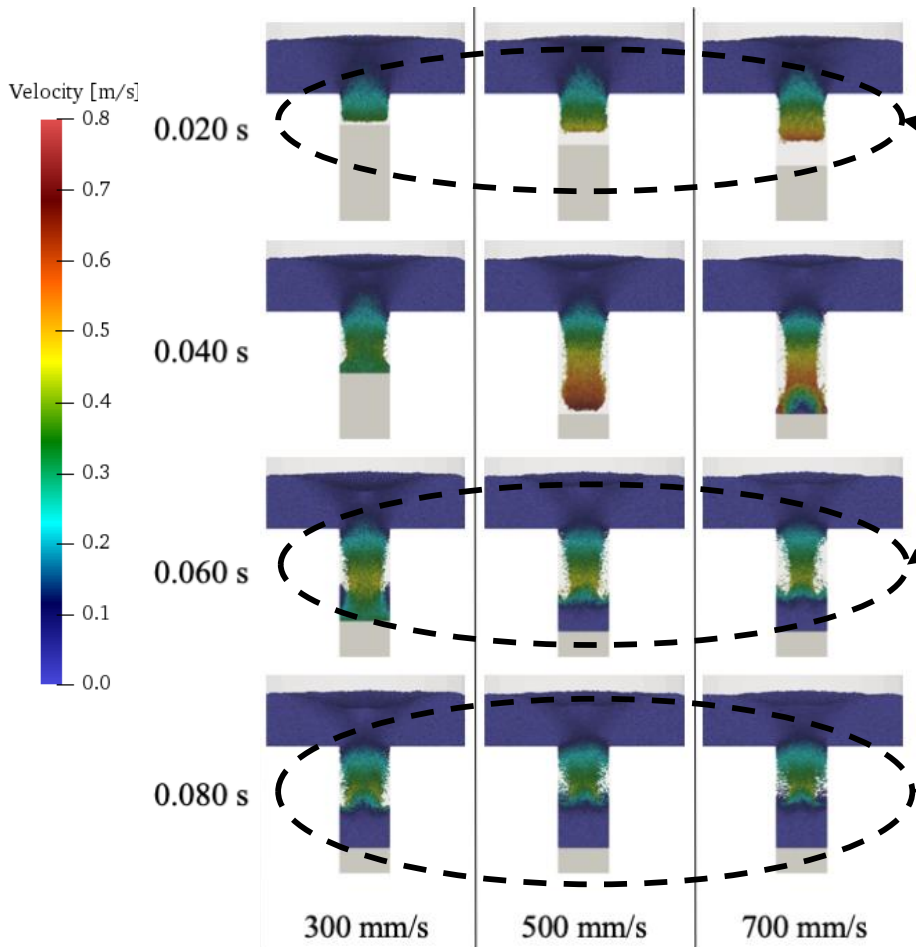


結果・考察

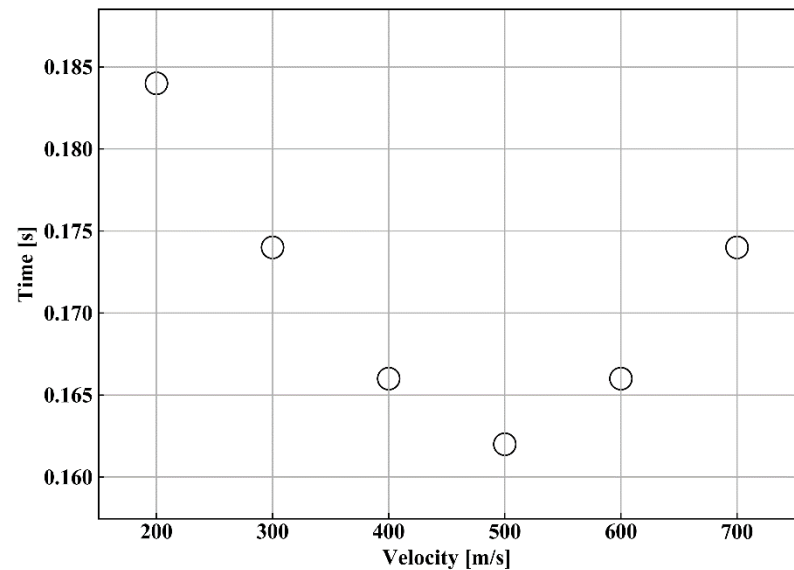


- ・ 下杵の降下によって、粒子が勢いよく流入している
- ・ 下杵の降下速度が異なると、粒子の流入の様子も異なる

結果・考察



下杵の降下速度に比例して、
粒子が多く流入



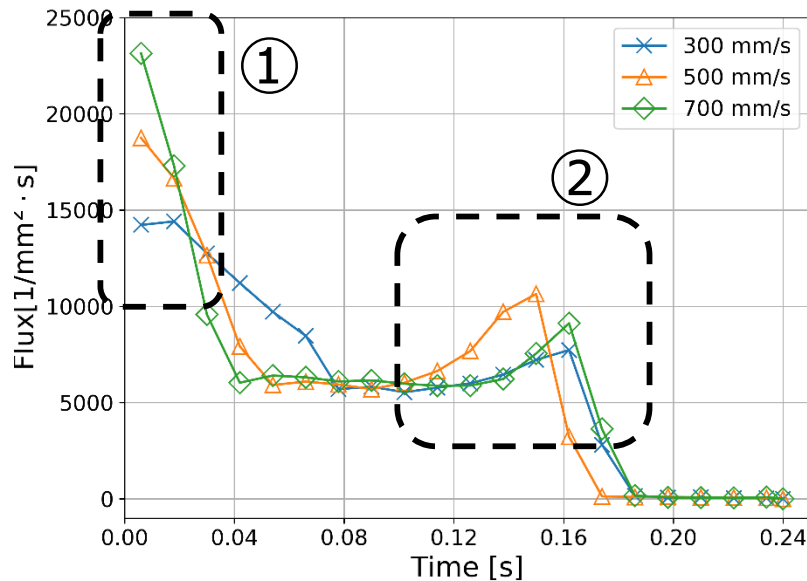
下杵の降下速度と充填完了時間の関係



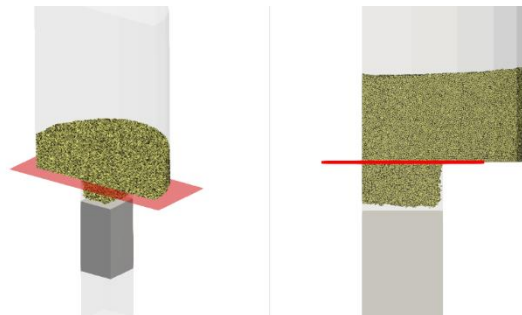
充填完了時間は下杵の降下速度に比例しない



結果・考察



粒子フラックスの時間変化



フラックスの測定箇所

① 充填初期に高いフラックス

下杵降下の瞬間の作用がフラックスを高める。
作用の強さは下杵の降下速度に比例する。

② 充填の終盤にフラックスが上昇

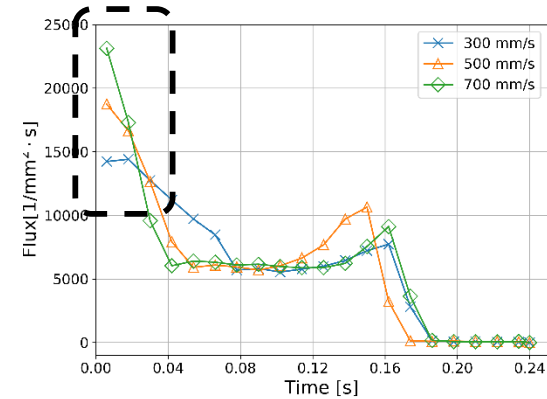
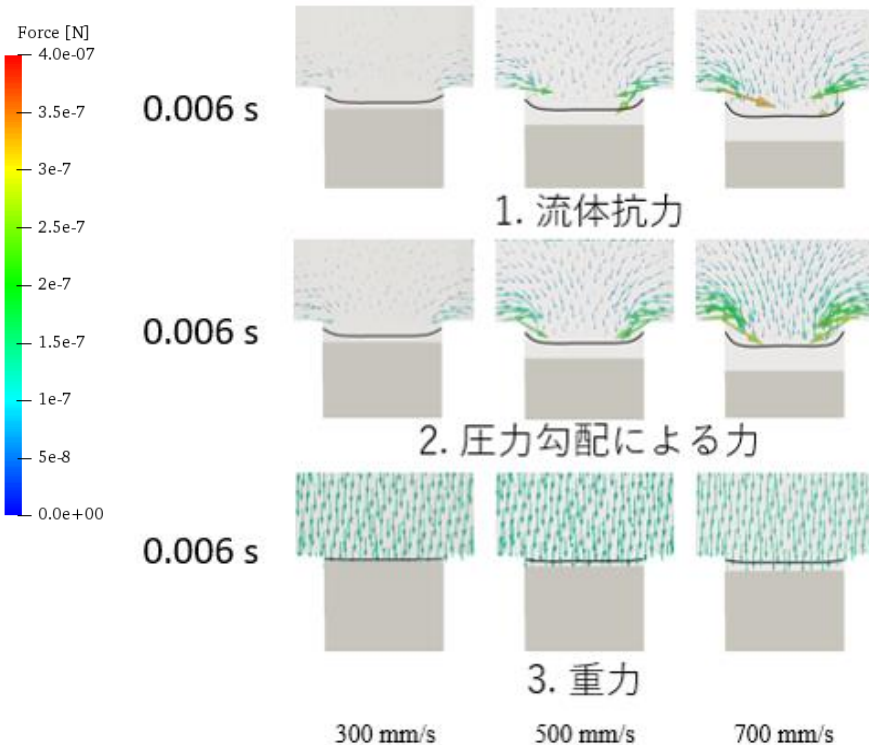
初期に高くなったフラックスは一度落ち着いた後、充填の終盤で上昇する。
上昇のタイミングがケースによって異なる。



①, ②についてそれぞれ確認

結果・考察

粒子に加わる力



① 充填初期の高いフラックス

- ・ 流体抗力と圧力勾配による力が主
- ・ 下杵の速度に比例した大きさ
- ・ 瞬間的に加わる

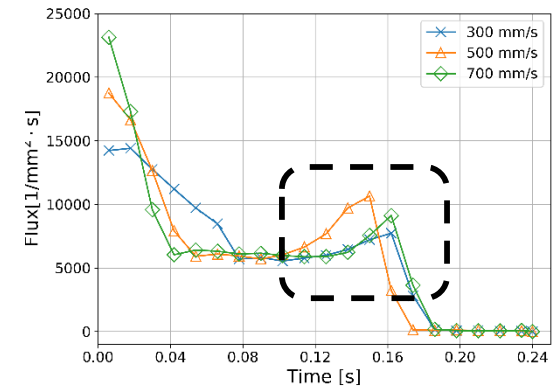
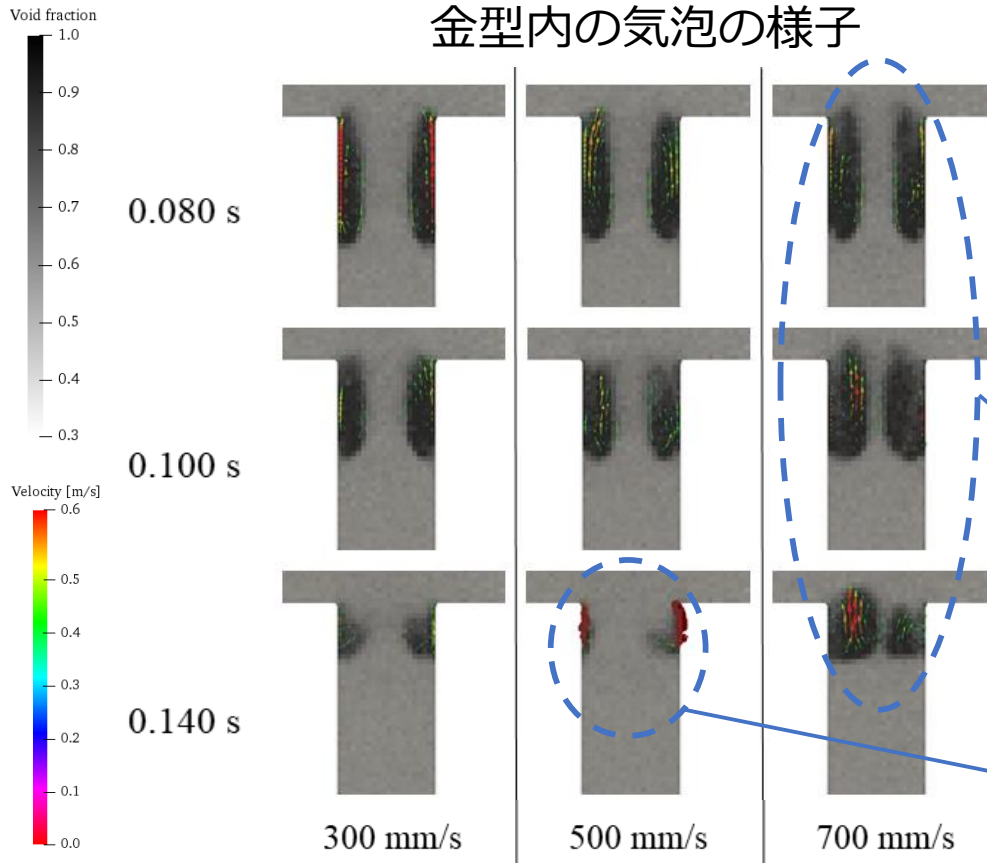
originality

➡ 吸引効果は流体抗力と圧力勾配による力が合わさり発生



結果・考察

金型内の気泡の様子



② 充填終盤のフラックスの上昇

流入路が気泡により遮断
され充填完了が遅れた

気泡が抜け終わり、
粒子が一気に流入

originality

➡ 下杵の速度が大きすぎると気泡の働きにより充填が遅れる



結論

数値シミュレーションを用いて吸引効果の作用原理を明らかにした。

1. 吸引効果は流体抗力と圧力勾配による力が合わさり発生

下杵降下開始の瞬間に流体抗力および圧力勾配による力が粒子に作用し、粒子を加速させる。
この力は下杵の降下速度に比例して強くなる。

2. 下杵の速度が大きすぎると気泡の働きにより充填が遅れる

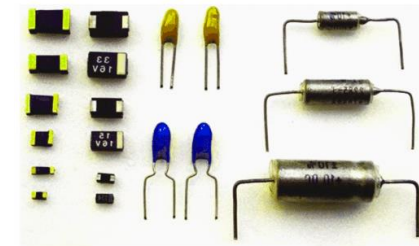
吸引効果の発生により多量の空気が流入する。空気は気泡を形成し、粒子の流入路を制限する。
下杵の降下速度が大きすぎると流入路が遮断され充填完了の遅れにつながる。



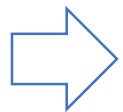
Tablet¹



Metallurgy²



Capacitor³



製品の生産性向上に応用できる結果を得た

