

オンプレとGCPのハイブリットでK3s/K8sで ゲームサーバーをオーケストレーション

@CNDW2025 学生スカラシップLT
by みずあめ

このスライドはここから読めます
<https://mizuame.works/slides/>

実際のデモクライアントの配布
やってます！！！

<https://md.mizuame.app/s/jkiL6lEd9>

About Me

名前: 佐藤 良

年齢: 19歳

所属: 筑波大学情報学群情報科学類2年

ついたー: @mizuameisgod

GitHub: @mizuamedesu

web: <https://mizuame.works/>



普段はゲームクライアントエンジニアとして、UnrealEngineやUnityをやってます

プレイ動画



クラウド、高い

- リアルタイム対戦ゲームサーバをサーバーレスでホストするのは難しい
- クラウド上でVMを沢山借りるとすぐ破産できる
- けど、オンプレでやると可用性に不安が(ex.停電)

→オンプレの計算資源を使いつつ、クリティカルな部分はクラウドのVMでやる
ハイブリッドK8sやりたい

問題が起きた時は、クラウドにVMを追加で生やし、フォールバックしたい。

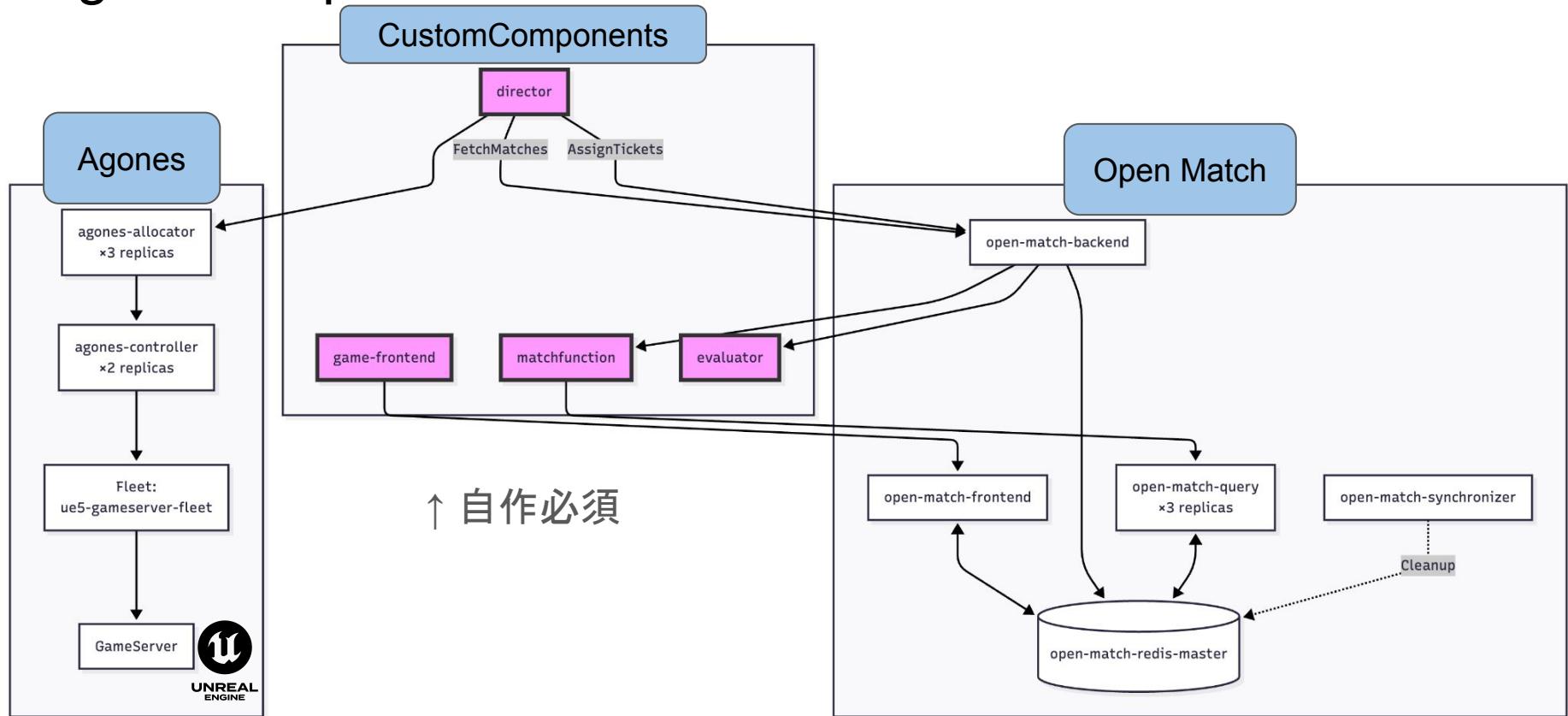
最終目標

- リレーサーバーを提供するSaaSはあるが、Dedicated serverを提供するSaaSはあまりない
- インディーゲーム界隈に、安価で提供できるDedicated server as a Serviceを作りたい
- 任意コード、バイナリの実行を許すため、セキュアな環境を作る必要がある
- 第一段階として、Kata Containersランタイムを使用したゲームランナーを構築する

AgonesとOpen Match

- Agones: 今回の場合はUnrealEngineのDedicated Serverを直接管理しているもの。サーバーのライフサイクルなどを管轄。
Googleなどが主にやってるOSS
- Open Match: 名前の通り、マッチメイキングを主に行う。クライアントとAgonesの橋渡しを実質的にやっている。(Open Match がマッチ結果を AgonesAllocator に渡し、サーバーを割り当てさせる)
Googleなどが主にやってるOSS

AgonesとOpen Match



AgonesとOpen Match

- director、match function、evaluator、game frontあたりは自分で作成する必要がある
- 簡易的なものを作成

mizuamedesu/**easy-open-match**



1
Contributor

0
Issues

0
Stars

0
Forks



<https://github.com/mizuamedesu/easy-open-match>

AgonesとOpen Match



**UNREAL
ENGINE**

Client

フロントへのトークン

サーバーへのアクセストークン

openlevel()
w/アクセストークン

K8s

game-frontend

Agones

game-server



**UNREAL
ENGINE**

インチキクラスタはリアルタイムゲームサーバーと相性が良い？

Dedicated game servers also need a direct connection to a running game server process' hosting IP and port, rather than relying on load balancers. These fast-paced games are extremely sensitive to latency, which a load balancer only adds more of. Also, because all the players connected to a single game server share the in-memory game simulation state at the same time, it's just easier to connect them to the same machine.

専用ゲームサーバーの場合、ロードバランサーに依存するのではなく、稼働中のゲームサーバープロセスが動作しているホストのIPアドレスとポートに直接接続する必要があります。このようなリアルタイム性が求められるゲームは遅延に対して非常に敏感であり、ロードバランサーはむしろ遅延を増大させる要因となります。さらに、単一のゲームサーバーに接続しているすべてのプレイヤーが同時にメモリ内のゲーム状態を共有するため、同じマシンに直接接続する方がはるかに効率的です。

<https://cloud.google.com/blog/products/containers-kubernetes/introducing-agones-open-source-multiplayer-dedicated-game-server-hosting-built-on-kubernetes>

インチキクラスタはリアルタイムゲームサーバーと相性が良い？

- 1マッチ=1Pod、NodePortでそのまま公開する
→ 最終的にクライアントはゲームサーバーにIP+Portで直で接続する
負荷分散はフロントのマッチセッションの所だけを考えれば良い
- 内部でAgonesがゲームサーバーのライフサイクルを管理できれば良いので、
インチキクラスタ構成と都合が良い

オンプレ/クラウドハイブリッドK8s



163.220.236.xxx

- FRR ルーター × 2(オンプレ)

i3-7100 4Core 4GB RAM /128GB HDD Ubuntu24.04



163.220.236.xxx

- Worker(オンプレ)

xeon-2699v4 22Core 32GB RAM /512GB SSD Ubuntu24.04

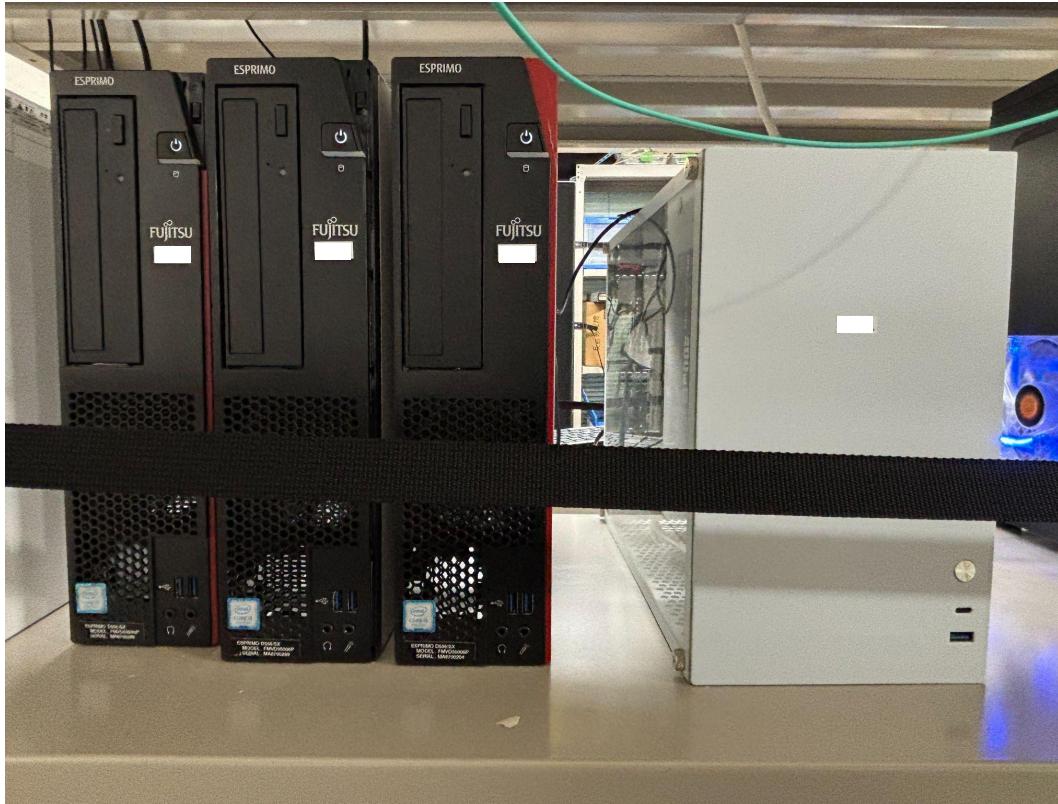


10.10.0.xxx

- Master(GCP/control-plane)

e2-medium 2vCPU 4GB RAM /40GB Disk Ubuntu22.04

オンプレ/クラウドハイブリッドK8s



オンプレ/クラウドハイブリッドK8s

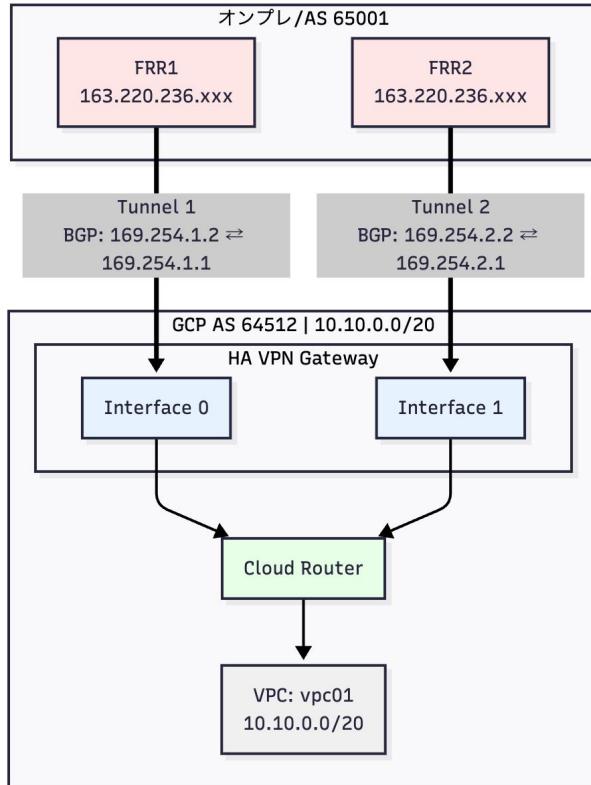


10.10.0.xxx

```
mizuame@k8s-gcp-test:~$ kata-runtime kata-check
No newer release available
ERROR[0000] CPU property not found
12 source=runtime type=flag
ERROR[0000] Module is not loaded and it can not be inserted. Please consider running with sudo or as root arch=amd64 module=kvm_intel name=kata-runtime pid=9212 source=runtime
ERROR[0000] kernel property kvm_intel not found
arch=amd64 description="Intel KVM" name=kvm_intel pid=9212 source=runtime type=module
ERROR[0000] Module is not loaded and it can not be inserted. Please consider running with sudo or as root arch=amd64 module=kvm name=kata-runtime pid=9212 source=runtime
ERROR[0000] kernel property kvm not found
arch=amd64 description="Kernel-based Virtual Machine" name=kvm pid=9212 source=runtime type=module
ERROR[0000] ERROR: System is not capable of running Kata Containers
ERROR: System is not capable of running Kata Containers
```

- Worker(GCP/オンプレのフォールバック先/一時ノード)
n2-standard-4 4vCPU 16GB RAM /50GB Disk Ubuntu22.04
- Kata Containersの使用にはkvmに対応している必要がある。いわゆる、Nested Virtualization
- GCPのN1/N2VMなどが対応

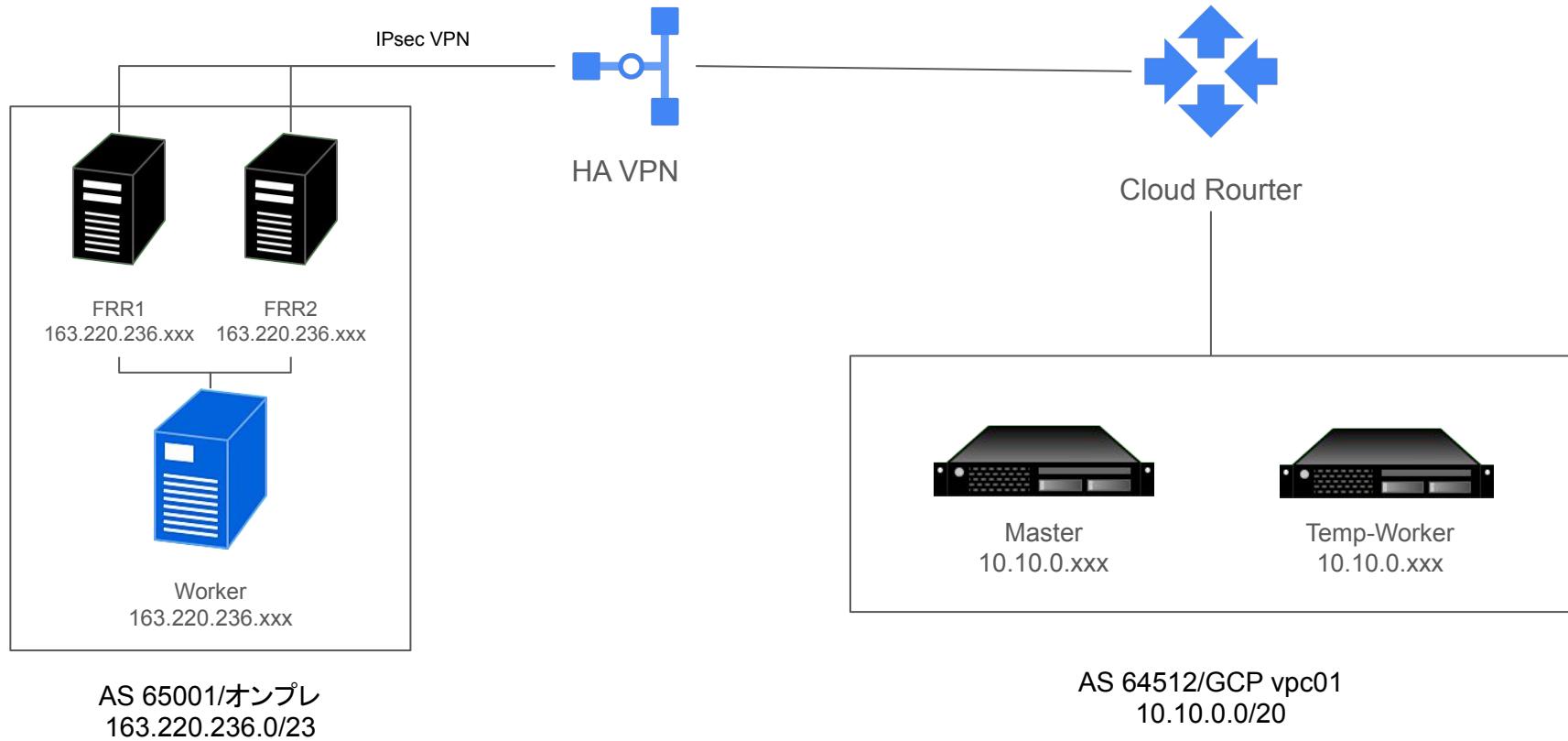
オンプレ/クラウドハイブリッドK8s



オンプレミス環境(AS 65001)のFRR
ルーター2台とGCP(AS 64512)の
HA VPN Gatewayの間で、冗長構成
のIPsec VPNトンネルを確立

BGPピアリングを行い、オンプレミス
側は163.220.236.0/23を、GCP側は
10.10.0.0/20のサブネットを相互に広
報

オンプレ/クラウドハイブリッドK8s



闇のノードオペレーター

- オンプレを監視し、疎通が取れなくなった場合GCPにVMを作成する、闇のオペレーターを作成
- 復旧時は自動で一時VMをクリーンアップ

mizuamedesu/**hybrid-node-operator**



1
Contributor

0
Issues

1
Star

0
Forks



<https://github.com/mizuamedesu/hybrid-node-operator>

闇のノードオペレーター

- onpremiseラベルを監視対象のノードに付与: 今回はuc-k8s4p
- gcp-permanentを永続ノードに付与: gcp-master
→ここに監視用オペレーターが配置される

```
mizuame@k8s-master-1:~$ kubectl get nodes -o wide
NAME                               STATUS   ROLES          AGE    VERSION   INTERNAL-IP     EXTERNAL-IP   OS-IMAGE           KERNEL-VERSION      CONTAINER-RUNTIME
k8s-master-1.asia-northeast1-a.c.k8s-test-474912.internal   Ready    control-plane   14d    v1.31.13  10.10.0.23   <none>        Ubuntu 24.04.3 LTS  6.14.0-1018-gcp  containerd://1.7.28
uc-k8s4p
mizuame@k8s-master-1:~$ kubectl get nodes -o wide
NAME                               STATUS   ROLES          AGE    VERSION   INTERNAL-IP     EXTERNAL-IP   OS-IMAGE           KERNEL-VERSION      CONTAINER-RUNTIME
gcp-temp-uc-k8s4p-1763028338      Ready    <none>         38s   v1.31.13  10.10.0.42   35.243.101.18  Ubuntu 22.04.5 LTS  6.8.0-1042-gcp  containerd://1.7.28
[k8s-master-1.asia-northeast1-a.c.k8s-test-474912.internal   Ready    control-plane   14d    v1.31.13  10.10.0.23   34.146.14.104  Ubuntu 24.04.3 LTS  6.14.0-1018-gcp  containerd://1.7.28
uc-k8s4p
mizuame@k8s-master-1:~$
```

闇のノードオペレーター

[2025-11-13 10:05:06] Node event detected: node=uc-k8s4p,
ready=False

- オンプレノードが NotReady と判断され、フェイルオーバー処理が開始される

[2025-11-13 10:05:07] Deleting completed NodeFailover resource
[2025-11-13 10:05:07] Creating NodeFailover resource for NotReady
node uc-k8s4p
[2025-11-13 10:05:07] NodeFailover resource created

- 新しいフェイルオーバー処理がセットアップされる

闇のノードオペレーター

```
[2025-11-13 10:05:38] Creating GCP VM for failed node uc-k8s4p
[2025-11-13 10:05:38] Created bootstrap token
[2025-11-13 10:05:38] Successfully calculated CA certificate hash
[2025-11-13 10:05:59] Creating GCP instance gcp-temp-uc-k8s4p-1763828338
[2025-11-13 10:05:59] Successfully created instance
[2025-11-13 10:06:29] Node gcp-temp-uc-k8s4p-1763828338 has joined the
cluster
[2025-11-13 10:06:29] Labeled node: node-type=gcp-temporary,
node-location=gcp, hardware=game-runner
```

- オンプレノードが NotReady と判断され、フェイルオーバー処理が開始される。
- VMの作成が完了するとKubernetes クラスタへjoin、ラベル付与

闇のノードオペレーター

- 事前に全て(K8s、Kata Containersなど)がセットアップされたカスタムコンピュートイメージを持っている

```
gcloud compute images list --no-standard-images
```

NAME	PROJECT	FAMILY	DEPRECATED	STATUS
k8s-kata-node-v1		k8s-kata-node		READY

- このイメージを元に、VMを作成し、Joinさせる
- kubeletに provider-id を設定することでcloud-controller-manager経由で ExternalIPを取得できる
--cloud-provider=external
--provider-id=gce://testserver-4343/asia-northeast1-b/gcp-temp-uc-k8s4p-x
xxxx

闇のノードオペレーター

- `create_bootstrap_token()`
Kubernetes一時トークン作成
- `get_ca_cert_hash()`
クラスタCA証明書のSHA256ハッシュ取得
- Startup Script生成
`generate_startup_script(token, ca_hash)`
メタデータ取得(PROJECT, ZONE, INSTANCE_NAME)
kubelet設定(cloud-provider=external, provider-id)
kubeadm join

闇のノードオペレーター

```
mizuame@k8s-master-1:~$ kubectl get nodes -o wide
NAME           STATUS   ROLES      AGE    VERSION   INTERNAL-IP     EXTERNAL-IP   OS-IMAGE          KERNEL-VERSION   CONTAINER-RUNTIME
k8s-master-1.asia-northeast1-a.c.k8s-test-474912.internal   Ready    control-plane   14d    v1.31.13  10.10.0.23   <none>        Ubuntu 24.04.3 LTS  6.14.0-1018-gcp  containerd://1.7.28
uc-k8s4p        Ready    <none>     14d    v1.31.13  163.220.236.54  <none>        Ubuntu 24.04.3 LTS  6.8.0-86-generic  containerd://1.7.28
mizuame@k8s-master-1:~$ kubectl get nodes -o wide
NAME           STATUS   ROLES      AGE    VERSION   INTERNAL-IP     EXTERNAL-IP   OS-IMAGE          KERNEL-VERSION   CONTAINER-RUNTIME
gcp-temp-uc-k8s4p-1763028338   Ready    <none>     38s   v1.31.13  10.10.0.42   35.243.191.18  Ubuntu 22.04.5 LTS  6.8.0-1042-gcp  containerd://1.7.28
[k8s-master-1.asia-northeast1-a.c.k8s-test-474912.internal   Ready    control-plane   14d    v1.31.13  10.10.0.23   34.146.14.104  Ubuntu 24.04.3 LTS  6.14.0-1018-gcp  containerd://1.7.28
uc-k8s4p        NotReady  <none>     14d    v1.31.13  163.220.236.54  <none>        Ubuntu 24.04.3 LTS  6.8.0-86-generic  containerd://1.7.28
```

- `create_instance(vm_name, startup_script)`
カスタムイメージ使用: k8s-kata-node-v1
`metadata.startup-script` に設定
VM起動 → スクリプト自動実行
- Ready状態まで自動でなる
- EXTERNAL-IPが振られている
→Agonesが自動でグローバルIP:Portを振ってくれる

闇のノードオペレーター

```
mizuame@k8s-master-1:~$ kubectl get gameservers -n game -o wide
NAME           STATE      ADDRESS   PORT   NODE          AGE
ue5-gameserver-fleet-z2jhh-5prsk  Scheduled  34.146.94.130  7254  gcp-temp-uc-k8s4p-1763029184  43s
ue5-gameserver-fleet-z2jhh-hdjcm  Scheduled  34.146.94.130  7995  gcp-temp-uc-k8s4p-1763029184  43s
mizuame@k8s-master-1:~$
```

Onprem node uc-k8s4p still NotReady, applying out-of-service taint
Added taint to node uc-k8s4p

Set condition TaintApplied=True for uc-k8s4p
Applied out-of-service taint to uc-k8s4p

- VMがJoinした後、オンプレに
node.kubernetes.io/out-of-service:NoExecute(taint付与)
- GCPの一時VMに各種サーバーが再配置される(画像参照)

闇のノードオペレーター

```
[2025-11-13 10:13:56] Node uc-k8s4p has re-joined the cluster
[2025-11-13 10:13:56] Labeled node: node-type=onprem, node-location=onprem,
hardware=game-runner
[2025-11-13 10:13:56] Node event detected: uc-k8s4p ready=True
[2025-11-13 10:13:56] Onprem node recovery detected: uc-k8s4p
[2025-11-13 10:13:56] NodeFailover phase changed: Active → Recovering
```

- `remove_node_taint()`

復旧を検知次第、オンプレノードの out-of-service taint削除
GameServerがオンプレに戻れるようになる

- GCP一時ノードをcordon(新規Pod配置停止)

闇のノードオペレーター

```
mizuame@k8s-master-1:~$ kubectl get gameserver -n game
NAME                 STATE      ADDRESS          PORT   NODE      AGE
ue5-gameserver-fleet-z2jhh-5vbqv  Scheduled  163.220.236.54  7398   uc-k8s4p  24s
ue5-gameserver-fleet-z2jhh-hksj7  Ready     163.220.236.54  7555   uc-k8s4p  15m
[mizuame@k8s-master-1:~$ kubectl get gameserver -n game
NAME                 STATE      ADDRESS          PORT   NODE      AGE
ue5-gameserver-fleet-z2jhh-5vbqv  Ready     163.220.236.54  7398   uc-k8s4p  64s
ue5-gameserver-fleet-z2jhh-hksj7  Ready     163.220.236.54  7555   uc-k8s4p  16m
mizuame@k8s-master-1:~$
```

```
[2025-11-13 10:14:01] NodeFailover phase changed: Recovering → Draining
[2025-11-13 10:14:01] Condition set: GameServersDrained=True
[2025-11-13 10:14:01] Started deletion of temporary node
gcp-temp-uc-k8s4p-1763028338
[2025-11-13 10:14:36] Deleted node gcp-temp-uc-k8s4p-1763028338
[2025-11-13 10:14:36] Deleting GCP instance gcp-temp-uc-k8s4p-1763028338
```

Agonesの状態遷移



正確にはScheduled,Requested,Startingもある

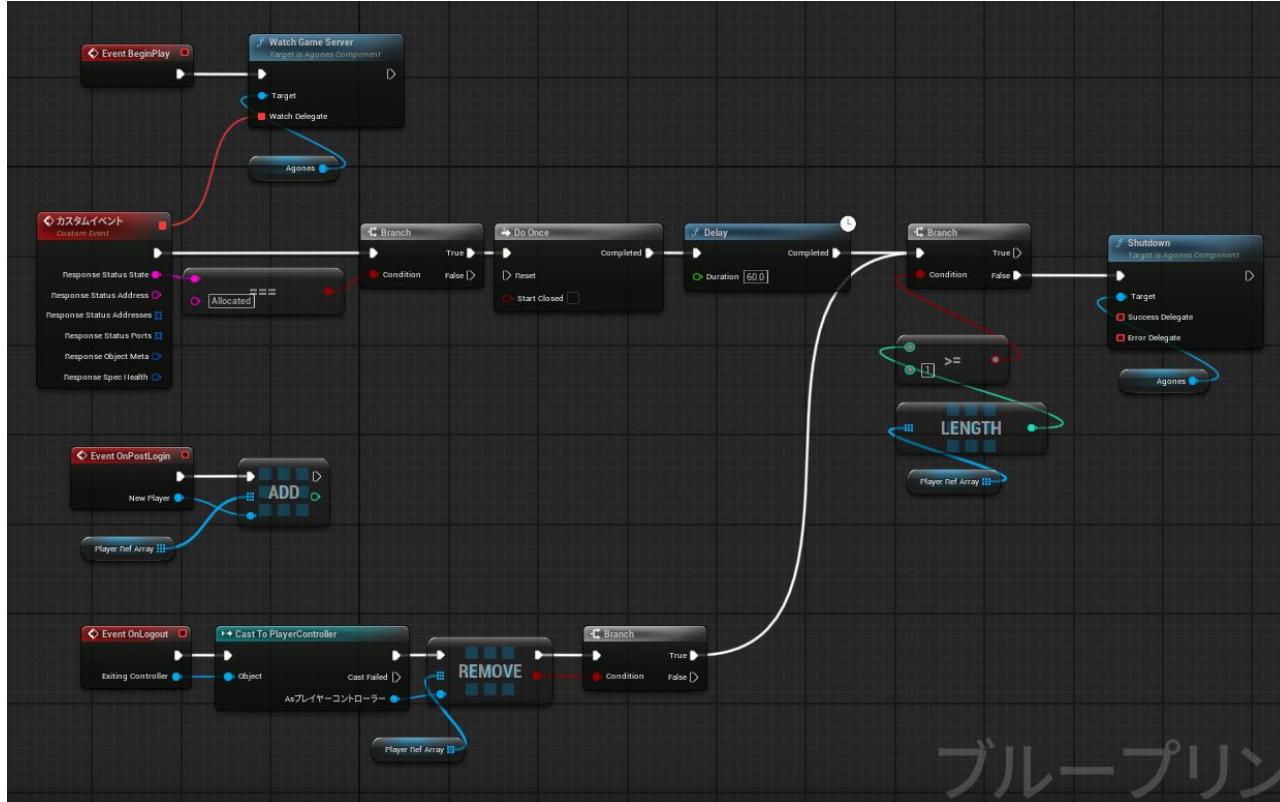
- できる限り既存のセッションは落とさないので、すでにAllocatedされたpodが一時VMに立っている間は、VMの削除を実施しない。
- ReadyのPodは全削除
- 全てのVMのPodが消えるか、最大許容時間を超えるとVM自体の削除を実施

Agonesへのシャットダウン通知実装

```
252 USTRUCT(BlueprintType)
253 struct FGameServerResponse
254 {
255     GENERATED_BODY()
256
257     UPROPERTY(BlueprintReadOnly, Category="Agones")
258     FStatus Status;
259
260     UPROPERTY(BlueprintReadOnly, Category="Agones")
261     FObjectMeta ObjectMeta;
262
263     UPROPERTY(BlueprintReadOnly, Category="Agones")
264     FSpec Spec;
265
266     FGameServerResponse()
267     {
268     }
269
270     explicit FGameServerResponse(const TSharedPtr<FJsonObject> JsonObject)
271     {
272         const TSharedPtr<FJsonObject>* ObjectMetaJsonObject;
273         if (JsonObject->TryGetObjectField(TEXT("object_meta"), ObjectMetaJsonObject))
274         {
275             ObjectMeta = FObjectMeta(*ObjectMetaJsonObject);
276         }
277         const TSharedPtr<FJsonObject>* SpecJsonObject;
278         if (JsonObject->TryGetObjectField(TEXT("spec"), SpecJsonObject))
279         {
280             Spec = FSpec(*SpecJsonObject);
281         }
282         const TSharedPtr<FJsonObject>* StatusJsonObject;
283         if (JsonObject->TryGetObjectField(TEXT("status"), StatusJsonObject))
284         {
285             Status = FStatus(*StatusJsonObject);
286         }
287     }
288 };
289 USTRUCT(BlueprintType)
```

```
38
39     // GameServerState is the state for the GameServer
40     type GameServerState string
41
42     const (
43         // GameServerStatePortAllocation is for when a dynamically allocating GameServer
44         // is being created, an open port needs to be allocated
45         GameServerStatePortAllocation GameServerState = "PortAllocation"
46         // GameServerStateCreating is before the Pod for the GameServer is being created
47         GameServerStateCreating GameServerState = "Creating"
48         // GameServerStateStarting is for when the Pods for the GameServer are being
49         // created but are not yet Scheduled
50         GameServerStateStarting GameServerState = "Starting"
51         // GameServerStateScheduled is for when we have determined that the Pod has been
52         // scheduled in the cluster -- basically, we have a NodeName
53         GameServerStateScheduled GameServerState = "Scheduled"
54         // GameServerStateRequestReady is when the GameServer has declared that it is ready
55         GameServerStateRequestReady GameServerState = "RequestReady"
56         // GameServerStateReady is when a GameServer is ready to take connections
57         // from Game clients
58         GameServerStateReady GameServerState = "Ready"
59         // GameServerStateShutdown is when the GameServer has shutdown and everything needs to be
60         // deleted from the cluster
61         GameServerStateShutdown GameServerState = "Shutdown"
62         // GameServerStateError is when something has gone wrong with the Gameserver and
63         // it cannot be resolved
64         GameServerStateError GameServerState = "Error"
65         // GameServerStateUnhealthy is when the GameServer has failed its health checks
66         GameServerStateUnhealthy GameServerState = "Unhealthy"
67         // GameServerStateReserved is for when a GameServer is reserved and therefore can be allocated by
68         GameServerStateReserved GameServerState = "Reserved"
69         // GameServerStateAllocated is when the GameServer has been allocated to a session
70         GameServerStateAllocated GameServerState = "Allocated"
71     )
72 )
```

Agonesへのシャットダウン通知実装



Agonesへのシャットダウン通知実装

- AgonesSDKを使用すると、WatchGameServer()でデリゲートを取れる
- デリゲートは状態遷移が発生すると発火する。
- Allocatedが帰ってきた場合、ゲームサーバー側はクライアントが割り当てられたことを知ることができる。
- UEの場合、ゲームモードのログアウト関数の後などに、プレイヤーコントローラーの管理処理を書き、この人数が0以下になったらSDKのShutdown関数を呼ぶ
- Shutdown関数はAgonesに対し回収依頼を発行し、自動でpodがクリーンアップされる(UE自身が直接シャットダウンするわけではない)

その他

```
pv > ! csi-s3-storageclass.yaml
1 kind: StorageClass
2 apiVersion: storage.k8s.io/v1
3 metadata:
4   name: csi-s3
5   provisioner: ru.yandex.s3.csi
6   parameters:
7     mounter: geesefs
8     options: "--memory-limit 1000 --dir-mode 0777 --file-mode 0666"
9   bucket: k8s
10  csi.storage.k8s.io/provisioner-secret-name: csi-s3-secret
11  csi.storage.k8s.io/provisioner-secret-namespace: kube-system
12  csi.storage.k8s.io/controller-publish-secret-name: csi-s3-secret
13  csi.storage.k8s.io/controller-publish-secret-namespace: kube-system
14  csi.storage.k8s.io/node-stage-secret-name: csi-s3-secret
15  csi.storage.k8s.io/node-stage-secret-namespace: kube-system
16  csi.storage.k8s.io/node-publish-secret-name: csi-s3-secret
17  csi.storage.k8s.io/node-publish-secret-namespace: kube-system
18  reclaimPolicy: Retain
19  volumeBindingMode: Immediate
```

```
1   apiVersion: v1
2   kind: PersistentVolume
3   metadata:
4     name: ue5-game-files-s3-pv
5   spec:
6     storageClassName: csi-s3
7     capacity:
8       storage: 10Gi
9     accessModes:
10      - ReadOnlyMany
11     claimRef:
12       namespace: game
13       name: ue5-game-files-s3-pvc
14     csi:
15       driver: ru.yandex.s3.csi
16       controllerPublishSecretRef:
17         name: csi-s3-secret
18         namespace: kube-system
19       nodePublishSecretRef:
20         name: csi-s3-secret
21         namespace: kube-system
22       nodeStageSecretRef:
23         name: csi-s3-secret
24         namespace: kube-system
25     volumeAttributes:
26       capacity: 10Gi
27       mounter: geesefs
28       options: --memory-limit 1000 --dir-mode 0777 --file-mode 0777
29       volumeHandle: k8s
```



- k8s-csi-s3でcloudflare R2オブジェクトストレージをPVIにしている

大体ここに載っています

mizuamedesu/**ue-k8s**



1
Contributor

0
Issues

0
Stars

0
Forks



mizuamedesu/**ue-server-env**



1
Contributor

0
Issues

0
Stars

0
Forks



<https://github.com/mizuamedesu/ue-k8s>

<https://github.com/mizuamedesu/ue-server-env>

謝辞

間瀬bb

https://x.com/bb_mase

Ultra-Coins

<https://ultra.coins.tsukuba.ac.jp/>

登 大遊(<https://x.com/dnobori>)先生をはじめとする、グローバルIPの貸し出しなどをして下さっているIPAの方々など