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

ついったー: @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

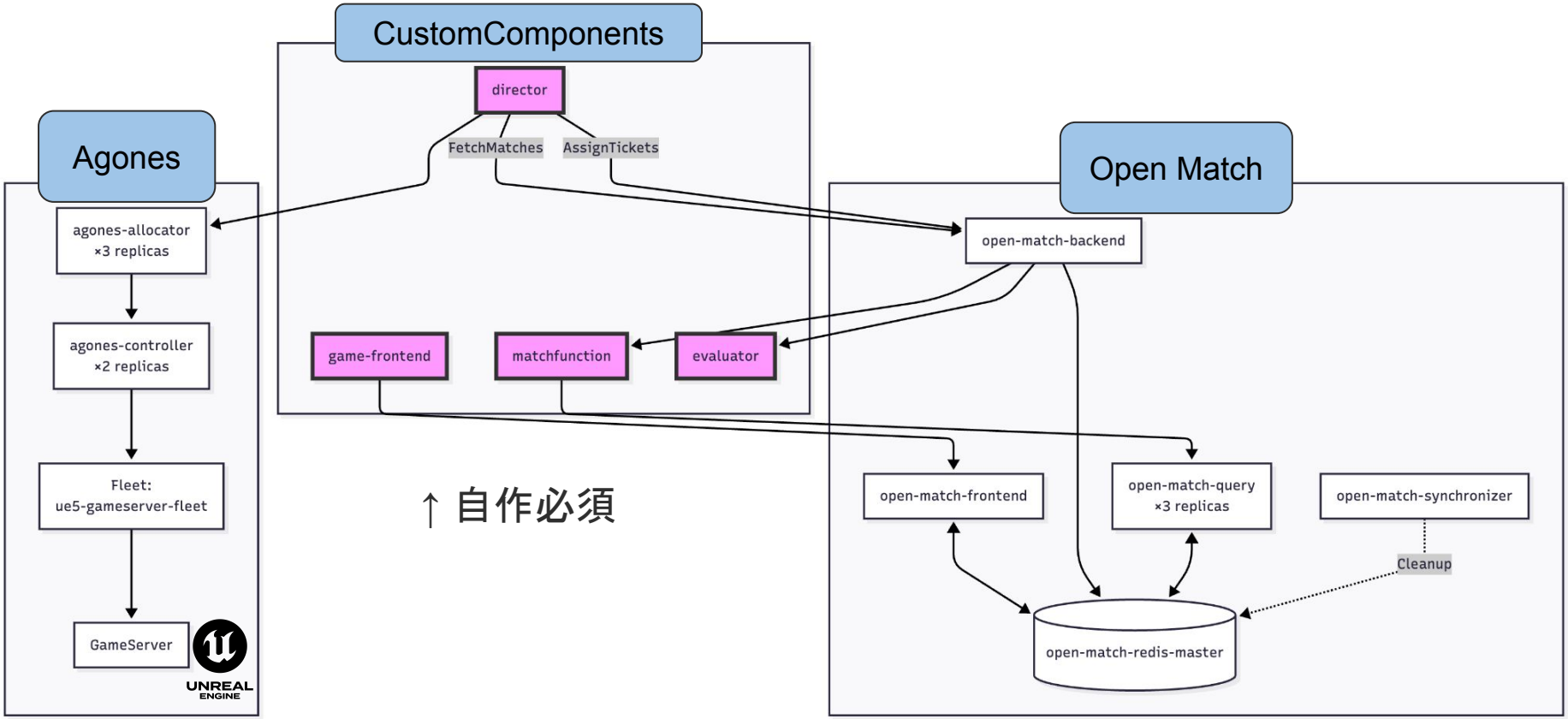
- リレーサーバーを提供するSaaSはあるが、Dedicated serverを提供するSaaSはあまりない
- インディーゲーム界隈に、安価で提供できるDedicated server as a Serviceを作りたい
- 任意コード、バイナリの実行を許すため、セキュアな環境を作る必要がある
- 第一段階として、Kata Containersランタイムを使用したゲームランナーを構築する

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

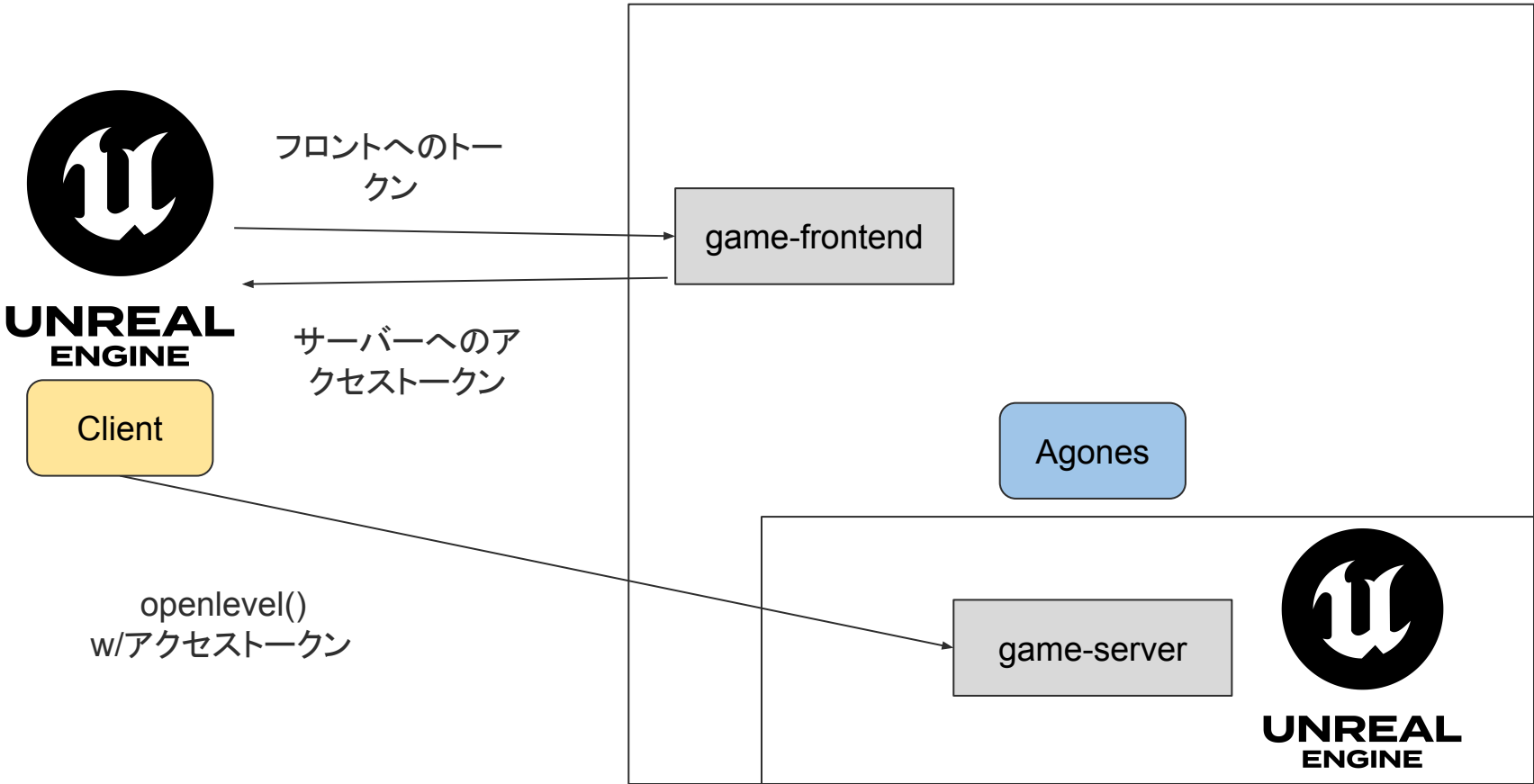
- director、match function、evaluator、game frontあたりは自分で作成する必要がある
- 簡易的なものを作成

mizuamedesu/**easy-open-match**

1 Contributor　0 Issues　0 Stars　0 Forks

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

AgonesとOpen Match



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

163.220.236.xxx

10.10.0.xxx

- FRR ルーター × 2(オンプレ)

  i3-7100 4Core 4GB RAM /128GB HDDUbuntu24.04

- Worker(オンプレ)

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

- 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

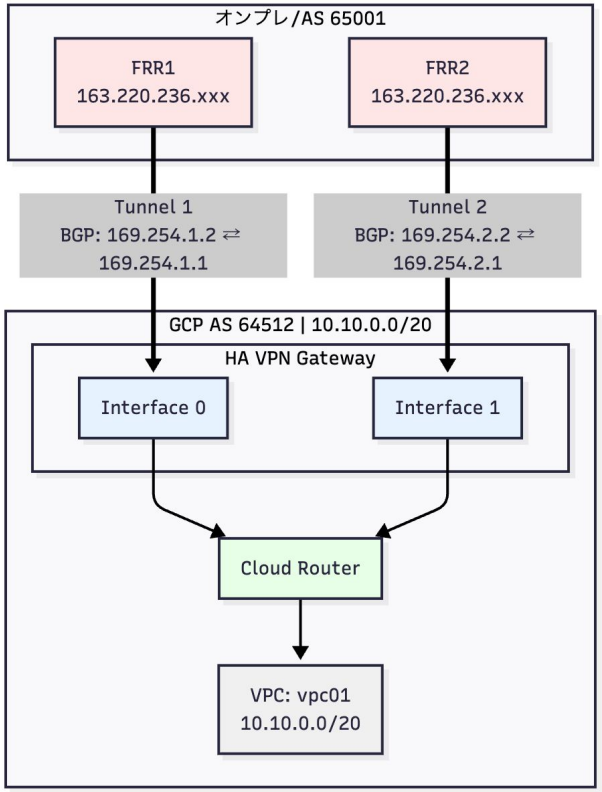
```
mizuame@k8s-gcp-test:~$ kata-runtime kata-check
No newer release available
ERRO[0000] CPU property not found                        arch=amd64 description="Virtualization support" name=vmx pid=92
12 source=runtime type=flag
ERRO[0000] Module is not loaded and it can not be inserted. Please consider running with sudo or as root  arch=amd64 mod
ule=kvm_intel name=kata-runtime pid=9212 source=runtime
ERRO[0000] kernel property kvm_intel not found           arch=amd64 description="Intel KVM" name=kvm_intel pid=9212 sour
ce=runtime type=module
ERRO[0000] Module is not loaded and it can not be inserted. Please consider running with sudo or as root  arch=amd64 mod
ule=kvm name=kata-runtime pid=9212 source=runtime
ERRO[0000] kernel property kvm not found                 arch=amd64 description="Kernel-based Virtual Machine" name=kvm
pid=9212 source=runtime type=module
ERRO[0000] ERROR: System is not capable of running Kata Containers  arch=amd64 name=kata-runtime pid=9212 source=runtime
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

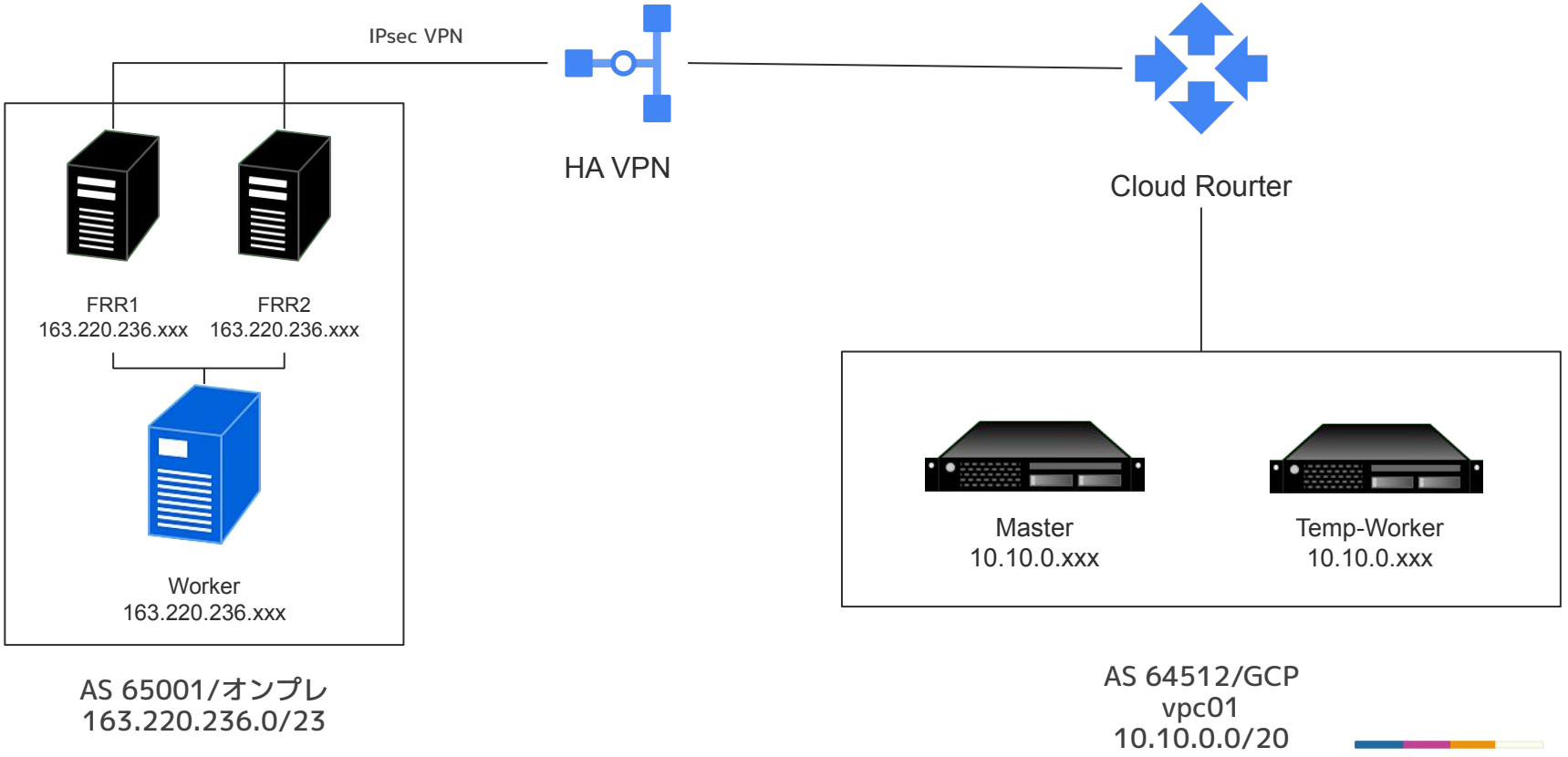
オンプレ/クラウドハイブリッドK8s



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                                              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       35.243.101.18   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                                              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
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-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       35.243.101.18   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                                              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

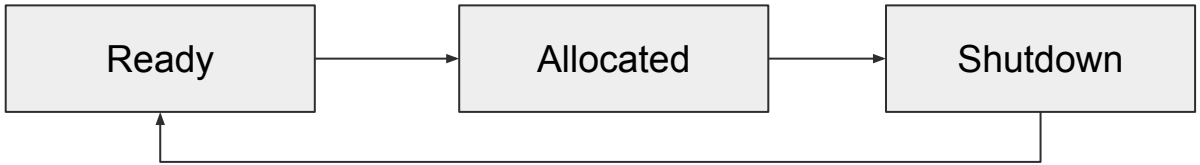
- GCP一時ノードをcordon（新規Pod配置停止）

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

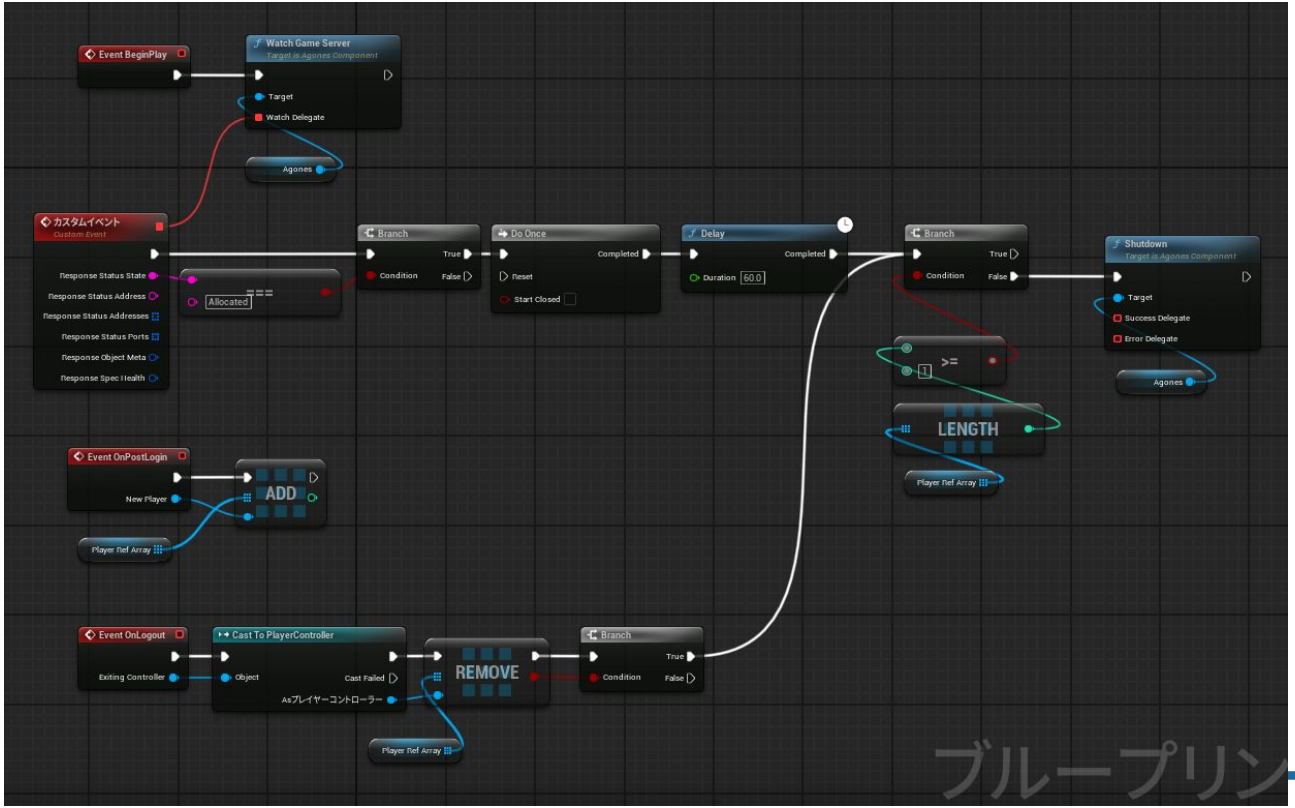
- できる限り既存のセッションは落としたくないので、すでにAllocatedされたpodが一時VMに立っている間は、VMの削除を実施しない。
- ReadyのPodは全削除
- 全てのVMのPodが消えるか、最大許容時間を超えるとVM自体の削除を実施

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
290  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 b
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

```yaml
kind: StorageClass
apiVersion: storage.k8s.io/v1
metadata:
  name: csi-s3
provisioner: ru.yandex.s3.csi
parameters:
  mounter: geesefs
  options: "--memory-limit 1000 --dir-mode 0777 --file-mode 0666"
  bucket: k8s
  csi.storage.k8s.io/provisioner-secret-name: csi-s3-secret
  csi.storage.k8s.io/provisioner-secret-namespace: kube-system
  csi.storage.k8s.io/controller-publish-secret-name: csi-s3-secret
  csi.storage.k8s.io/controller-publish-secret-namespace: kube-system
  csi.storage.k8s.io/node-stage-secret-name: csi-s3-secret
  csi.storage.k8s.io/node-stage-secret-namespace: kube-system
  csi.storage.k8s.io/node-publish-secret-name: csi-s3-secret
  csi.storage.k8s.io/node-publish-secret-namespace: kube-system
reclaimPolicy: Retain
volumeBindingMode: Immediate
```

```yaml
apiVersion: v1
kind: PersistentVolume
metadata:
  name: ue5-game-files-s3-pv
spec:
  storageClassName: csi-s3
  capacity:
    storage: 10Gi
  accessModes:
    - ReadOnlyMany
  claimRef:
    namespace: game
    name: ue5-game-files-s3-pvc
  csi:
    driver: ru.yandex.s3.csi
    controllerPublishSecretRef:
      name: csi-s3-secret
      namespace: kube-system
    nodePublishSecretRef:
      name: csi-s3-secret
      namespace: kube-system
    nodeStageSecretRef:
      name: csi-s3-secret
      namespace: kube-system
    volumeAttributes:
      capacity: 10Gi
      mounter: geesefs
      options: --memory-limit 1000 --dir-mode 0777 --file-mode 0777
    volumeHandle: k8s
```

CLOUDFLARE

- k8s-csi-s3でcloudflare R2オブジェクトストレージをPV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

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

mizuamedesu/**ue-server-env**

1 Contributor　0 Issues　0 Stars　0 Forks

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